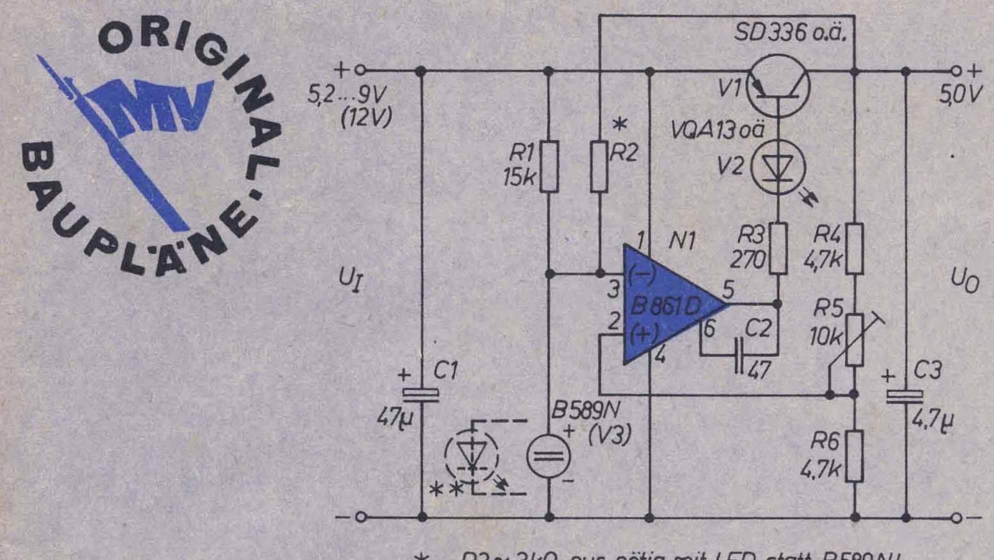


* R2 ≈ 3kΩ, nur nötig mit LED statt B589N!
** (LED statt V3)

Bauplan 67

Klaus Schlenzig

Rund um die Spannungsquelle

Inhalt

1. Einleitung
2. Stromversorgung, ohne die nichts geht
2.1. Welche Versorgung für welches Objekt?
2.2. Chemische Spannungsquellen
2.2.1. Allgemeines
2.2.2. Werte für den Praktiker
2.2.3. Wiederaufladbare Spannungsquellen
2.3. Netzanschluß und Funktionssicherung
3. Vom Gleichrichter zur Referenzquelle
3.1. Gleichrichten und Sieben
3.2. Gleichrichterbauelemente
3.3. Tranformatoren »von der Stange«
3.4. Stabile Verhältnisse
3.5. Einstellbare Reglerschaltkreise – kurze Übersicht
4. Schaltungspraxis
4.1. Z-Dioden-Regeln
4.2. Kleinempfänger-Netzteil mit *B 3170*
4.3. LS-TTL-Stromversorgung mit Spannungswächter
4.4. Null-Lösungen
4.5. Labornetzteil für +15 V und −15 V
4.6. Prüfen von integrierten Reglern der Reihe *B 3xxx*

1. Einleitung

Bauplanobjekte kommen meist mit relativ einfachen Stromversorgungsteilen aus. Batteriebetrieb als anfängergemäße Lösung wurde so oft wie möglich angestrebt. Bei Dauerversorgung aus dem Netz – wo sie notwendig ist – muß man bedenken, daß der angesprochene Leserkreis großenteils nicht die erforderliche Qualifikation für Arbeiten in Netzkreisen und für die Berücksichtigung der notwendigerweise strengen Vorschriften beim Selbstbau hat. Damit bleibt nur ein kleiner Spielraum, was die erreichbare Leistung von Stromversorgungsteilen betrifft, denn es muß auf Fertigprodukte schutzisolierter Transformatoren begrenzt werden. Selbst bei deren sachgemäßem Einsatz wird das Auge eines Fachmanns erforderlich, bevor es wirklich »ans Netz« geht.

Aus all diesen Gründen hat es bisher nur einmal einen Bauplan gegeben, der ausschließlich das Thema Stromversorgung behandelte. Das ist jetzt schon fast 2 Jahrzehnte her. Man muß die Situation also neu überdenken.

Die zunehmend mit geringerer Betriebsenergie auskommenden modernen Elektronikschaltungen lassen der Bauplanelektronik ein immer größer werdendes Spielfeld. Man kann heute manche bereits recht anspruchsvolle Anwendung aus einem Klingeltransformator speisen, für die vor 2 Jahrzehnten noch ein indiskutabel großer Transformator nötig gewesen wäre.

Während jedoch die erforderliche Leistung insgesamt drastisch gesunken ist, bezogen auf vergleichbare »Gebrauchswert-Einheiten«, gibt es ganze Schaltkreisfamilien, die höhere Ansprüche an die Quelle stellen. Die Regel, daß ein Gerät noch mit ⅔ der Batterie-Anfangsspannung arbeiten muß, gilt nur für einen Teil der derzeit möglichen Objekte.

Neben Anwendungen der Analogtechnik (die einen kleiner werdenden Anteil an dem einnehmen, was Elektronikamateure heute interessiert), sind das unter gewissen Bedingungen auch mit CMOS-Schaltkreisen bestückte Digitalschaltungen.

Insgesamt sind die Anforderungen an Stromversorgungseinheiten also gestiegen, was Konstanz und Eigenbedarf betrifft. Zugenommen hat, berücksichtigt man diese Situation, jedoch auch der Anteil an interessanten Schaltungen auf »Bauplanebene«, die sich unter diesen Grenzbedingungen bereits aus einem Klingeltransformator sogar stabilisiert speisen lassen.

Es geht also um einen Bauplan, der Stromversorgung mit modernen Bauelementen bietet, der dem Experimentierbedürfnis des Lesers mit kleinen einstellbaren Quellen entgegenkommt und auch Leiterplatten für häufiger benötigte »Einzwecklösungen« enthält. Im Grunde benötigt man in der Stromversorgungstechnik nur relativ wenige Schaltungen, die nicht ständig neu erfunden werden müssen. Bestimmte individuelle Varianten, die sie interessanter machen, enthält dieser Bauplan, und sie werden nun nachvollziehbar auf Folie erhältlich sein.

Dabei sei es gestattet, vorwiegend die Gruppe der stetigen Regler zu behandeln. Sie sind störstrahlungsfrei, und ihre Bauelemente werden nicht durch Impulsspannungen gefährdet. Auch wickeln muß man nicht und braucht keine speziellen weichmagnetischen Bauelemente. Im gezogenen Leistungsrahmen wiegt der geringere Wirkungsgrad stetiger Regler dagegen weniger schwer.

Bewußt werden darum auch keine Informationen zum Selbstbau von Transformatoren gegeben. Der mit den Sicherheitsvorschriften Vertraute kann das zwar nicht unbedingt kontinuierlich verfügbare, jedoch im Handel in vielfältigen Varianten anzutreffende Angebot an Netztransformatoren nutzen. Bei Einheiten, die ohne einen solchen Typ aus Leistungsgründen nicht auskommen, ist der »durchschnittliche« Bauplanleser selbstverständlich auf die Unterstützung eines Fachmannes angewiesen. Sei es, daß dieser entscheidet, ob der vorliegende Typ, sachgemäß isoliert eingebaut, für Schutzklasse 2 in Frage kommt, sei es, daß diese Seite von eben einem solchen Fachmann mit »Schutzkontaktperipherie« versehen wird. Der Endnutzer erhält eine solche Lösung dann als Schutzklasse-1-Versorgung.

In jedem Fall aber beginnt der Bauplanleser erst an den Ausgangsklemmen einer solchen Spannungsversorgung mit seiner eigenen Arbeit. Er hat dabei genügend Spielraum, reichen doch geeignete »Rohspannungslieferanten« heute vom Taschenrechner-Steckernetzteil bis zum 16-V/1-A-Eisenbahn-Zubehörtransformator.

2. Stromversorgung, ohne die nichts geht

Halbleiterbauelemente bestimmen die Schaltungstechnik der Mikroelektronik. Elektronik beruht auf den Wirkungen bewegter Ladungsträger in Stoffen und im Vakuum. Das letztgenannte Medium war noch vor 25 Jahren dominierend, in Form der Elektronenröhre. Heute findet man sie nur noch in speziellen Geräten und in der Sonderform der Bildröhre in Bildwiedergabegeräten.

War der Spielraum von Elektronenröhren und auch von diskreten Halbleiterbauelementen noch relativ groß, was den zulässigen Bereich der Arbeitsspannung betraf, so ist das in den Schaltkreisfamilien der Digitaltechnik stark eingeschränkt. Sonst funktionieren die Logikbeziehungen nicht mehr, und es können auch rasch Defekte hervorgerufen werden.

So kommt es beispielsweise zur Umkehrung der früheren und in der Leistungselektronik nach wie vor gültigen Forderung nach möglichst kleinem Innenwiderstand. Nur soviel Strom wie nötig, kann es durchaus heißen, dafür aber innerhalb der normalen Arbeitsbedingungen eine so gute Konstanz der Spannung, wie vom System her gefordert.

Weiteres Spezielles hat die Halbleiterelektronik gebracht. So gibt es bereits Geräte, die nicht mehr ausgeschaltet werden müssen, oder solche, die beim Einschalten die Einhaltung bestimmter Anstiegsbedingungen der Spannung erfordern. Manchmal kann zu langsam schlecht sein, bisweilen aber auch zu schnell. Äußerst wichtig ist für bestimmte Schaltkreistypen mit mehreren Betriebsspannungen die Einhaltung einer bestimmten Reihenfolge bei der Zu- und Abschaltung der einzelnen Komponenten.

Manche Geräte und Einrichtungen der Mikroelektronik sind so wichtig für Mensch und Technik geworden, daß sie unter allen Umständen weiterarbeiten müssen, also auch bei Ausfall des sie normalerweise versorgenden Netzes. Das funktioniert nur mit zusätzlichem Aufwand, denn auch die Übernahmebedingungen für die Notstromversorgungen sind durch die übrige Schaltungstechnik festgelegt.

Während auf der Seite der reinen Informationsverarbeitung insgesamt jedoch die Probleme der Stromversorgung auf einem gewissen Niveau moderner Schaltungstechnik nicht allzu schwer erfüllt werden können, hat der Übergang auf Halbleitertechnik mit zunächst relativ kleinen zulässigen Betriebsspannungen auf der Leistungsseite zum Umdenken gezwungen. Wenn früher eine Leistungsendstufe 10W zu liefern hatte, dann bedeutete das bei 200V Betriebsspannung nur 50mA Strom. Die gleiche Stufe, mit Bauelementen für 40V Höchstwert bestückt, braucht den 5fachen Strom, also 250mA. Diesen Bedingungen müssen die Bauelemente der Stromversorgung gewachsen sein, allerdings eben bei kleinerer Spannungsbelastung. Jedoch steigen auf jeden Fall die Verluste in den Widerständen dieser Strompfade, und auch die Gefahr von Verkopplungen nimmt zu. Der Stromversorgungstechniker sieht sich bei größeren Strömen nicht mehr nur der Aufgabe gegenüber, seinen Netztransformator bezüglich Netzspannung zuverlässig zu isolieren, er bekommt auch Probleme mit der Dicke des Wickeldrahtes. Wicklungen aus mehreren parallelen Drähten lassen sich bei Computernetzteilen für beispielsweise 5V/5A kaum noch umgehen. Insgesamt wird somit auch die Wärmeabfuhr aus diesen Geräten eine wichtige Frage, besonders eben auf Grund der zumeist relativ hohen Forderungen an die Stabilität der Spannung für die zu versorgenden Schaltungen.

Dieser kurze Streifzug durch die Problematik moderner Stromversorgung sollte deutlich machen, welchen oft komplizierten Aufgaben man sich auch auf diesem auf den 1. Blick »trivial« erscheinenden Sektor der modernen Elektronik gegenübersieht. Doch ebendiese Elektronik bietet auch die Mittel und Möglichkeiten, das zu beherrschen. Allerdings in dieser zuletzt angesprochenen »höheren« Leistungsklasse unter ständiger Berücksichtigung physikalischer Gegebenheiten, die sich nicht auf die Elektronik beschränken, sondern im Grunde so alt sind wie die Nutzung des Feuers ...

Da es bereits in der Einleitung angesprochen worden ist, sei es abschließend nur nochmals kurz erwähnt: Vorsicht vor Netzstromkreisen – gerade in der Stromversorgungstechnik ist Sicherheit oberstes Gebot!

2.1. Welche Versorgung für welches Objekt?

Ein elektronisches Gerät funktioniert stets nur in einem gewissen Bereich der Speisespannung. Ist sie zu niedrig, ergeben sich ungünstige Arbeitspunkte, es steht eine zu geringe Ausgangsleistung zur Verfügung, Oszillatoren können aussetzen, bei Digitalschaltungen stimmen die Pegel nicht mehr. Ändert die Spannungsquelle im Laufe des Betriebs ihre Eigenschaften, weil z. B. die Batterie altert, so können über den wachsenden Innenwiderstand Verkopplungen auftreten, die ebenfalls normalen Betrieb unmöglich machen. Liegt dieser Innenwiderstand von vornherein für die vorgesehene Verwendung zu hoch, ist die Quelle ungeeignet. Dabei sind noch 2 Fälle zu unterscheiden:

Nach Bild 1 kann man eine Gleichspannungsquelle als Serienschaltung einer Batterie U_l mit einem Widerstand R_i ansehen. Daraus wird deutlich, daß bei Belastung durch einen äußeren Widerstand R_a die Klemmenspannung absinken muß, nämlich gemäß Spannungsteilung über Innen- und Außenwiderstand. Die Kennlinie für die Belastung eines derartigen linearen Zweipols entspricht daher Bild 2. Für $R_i = R_a$ ist die Klemmenspannung nur noch $U_l/2$, bei $R_a = 0$ mißt man außen gar nichts mehr, und die gesamte Batteriespannung liegt über dem Innenwiderstand R_i. Dadurch kann sich die Spannungsquelle stark erwärmen. Je kleiner der Innenwiderstand, um so größer der Kurzschlußstrom, um so schneller entlädt sich die Batterie.

Nun will man aber möglichst wenig Verluste über dem Innenwiderstand, und schließlich soll bei einer Änderung der Last auch die Betriebsspannung nicht wesentlich schwanken. Man

muß also die Belastung den Daten der Quelle entsprechend wählen, d. h. $R_a >> R_i$. Jedem Amateur sind die Verkopplungen bekannt, die z. B. in einem Empfänger entstehen können, wenn die Batterie altert. Batteriebetriebene Digitalschaltungen reagieren ähnlich, nur erkennt man das meist nicht so unmittelbar wie am Blubbern eines Rundfunkempfängers.

Wie man das in gewissen Grenzen kompensieren kann, ist ebenfalls bekannt: Der dynamische (also der Wechselstrom-) Innenwiderstand der Quelle wird mit einem Elektrolytkondensator von einigen hundert Mikrofarad verringert. Die Größe richtet sich nach dem entnommenen Strom. So werden beispielsweise in dem von einem Verstärker erfaßten Frequenzbereich die von der Endstufe verursachten schnellen Belastungsänderungen abgefangen. Das unterdrückt Wechselspannungsanteile auf der Stromversorgung, die in dafür empfindlichen, weil höher verstärkenden Vorstufen zur Selbsterregung des Gerätes führen können.

Für die einwandfreie Gerätefunktion hat es also große Bedeutung, daß der Innenwiderstand des Stromversorgungsteils gegenüber den zu erwartenden Belastungen genügend klein ist. Das gilt sowohl gegenüber konstanter wie schwankender Komponente.

Bei den Bauplanobjekten früherer Jahre handelte es sich oft um Anwendungen aus der Analogtechnik. Sie waren gegenüber einem relativ großen Bereich der Speisespannung tolerant, sofern man die mit dem Innenwiderstand verbundenen Fragen beachtete.

Vorverstärker mit geringem Eigenbedarf mußten häufig aus einer Quelle versorgt werden, die durch die Leistungsendstufe (für Lautsprecher, Lampen o. ä.) einer insgesamt wesentlich größeren und eben meist auch schwankenden Belastung ausgesetzt war. Die Wirkung der bei alternder Batterie auftretenden Selbsterregung ließ sich jedoch relativ leicht erkennen.

Schaltungen mit Digitalbaugruppen, z. B. der TTL-Technik, heben das Problem nicht auf, sondern es wiederholt sich auf »höherer Ebene«. Zum einen darf die Versorgungsspannung schon nur noch um wenige Prozent (TTL: ±5%) vom Nennwert abweichen. Zum anderen aber bringt der höherfrequente Schaltbetrieb oft erhebliche Stromspitzen, wenn die Gatter beim Umschalten in den Übergangsbereich geraten, wo oberer und unterer Teil gleichzeitig leiten. Diese als kurzzeitige Spannungseinbrüche wirkenden Belastungen greifen infolge der Leitungsführung zu benachbarten Eingängen durch und schalten diese Stufen ebenfalls um. Das alles läuft bei oft ziemlich hohen Taktfrequenzen ab und mit steilen Schaltflanken. Man muß die Schaltkreise darum dicht an ihren Stromversorgungsanschlüssen mit sogenannten Stützkondensatoren versehen. Sie fangen die kurzen Stromspitzen ab und halten sie damit von Eingängen fern.

Bei den zunächst betrachteten Analogschaltungen sind für den Amateur sowohl leistungsarme wie leistungsintensive Varianten von Bedeutung. Einfach ausgedrückt: Vom mit R6-Zellen betriebenen Kleinempfänger bis zur 2×10-W-Stereoanlage »an der Steckdose« trifft man mobile, batterietaugliche ebenso an wie eben sinnvoll nur vom Netz (oder allenfalls aus einer Autobatterie) zu versorgende Objekte.

Auf der Digitalseite legt der Gatterleistungsbedarf von 10mW bei der Standard-TTL-Technik von vornherein auf Netzspeisung fest. Lediglich kleine Spielereien mit wenigen Schaltkreisen sind davon ausgenommen. Erst mit der LS-TTL-Technik (2 mW je Gatter) verschoben sich diese Grenzen zumindest für »schnurlosen« Kurzzeitbetrieb in Richtung anspruchsvollerer Einsatzfälle. Die CMOS-Technik erlaubte den entscheidenden Rücksprung vieler Amateurgeräte auf die Batterieebene. Das bezieht sich allerdings vorwiegend auf Anwendungen mit geringem peripherem Leistungsbedarf. Schließlich ist aber die Peripherie, an der die Schaltung erst ihren Sinn »nach außen« erhält, wohl meist das Wichtigste. Dort werden Signale in Wirkungen umgesetzt, und Wirkungen sind nun einmal mit Energiebedarf verbunden. Das trifft für das Schallsignal eines Lautsprechers genauso zu wie für das Blinken einer Lampe oder das Leuchten einer LED-Anzeige. (Ausgeklammert bleibt dabei

die Möglichkeit über LCD auszugeben.) Noch stärker treffen diese Überlegungen dort zu, wo z.B. Motoren geregelt betrieben werden müssen u.ä.

Im Grunde sind heute Taschenempfänger aus der Sicht ihrer Versorgung gleichzusetzen mit digitalen Überwachungsschaltungen etwa in CMOS-Technik. Beide brauchen nur wenig Energie und sind in einem von Batterien beherrschbaren Spannungsbereich funktionsfähig. In allen anderen Fällen aber kommt man auf Dauer um ein Netzteil nicht herum.

Ungeregelte Stromversorgungsteile mit Netzspeisung bringen eine bei Batteriebetrieb relativ unbekannte Gefahr: Ihre Leerlaufspannung kann wesentlich höher sein als die bei Nennlast, und Netzspannungsspitzen können die Schaltung gefährden. Umgekehrt ist es möglich, daß diese Versorgungsschaltungen selbst ausfallen, wenn man sie überlastet.

Einer Batterie aus Primärelementen kann schon einmal ein Kurzschluß zugemutet werden. Allerdings gibt es auch unter ihnen bereits Typen, die dabei gefährlich reagieren können (z.B. die u.a. für Fotozwecke benutzten Alkali-Mangan-Zellen). Kritisch ist auch das Kurzschließen von Akkumulatoren. Elektronische Stromversorgungsschaltungen älterer Bauart, die nicht mit entsprechend wirksamen Schutzschaltungen versehen sind, reagieren auf einen Kurzschluß häufig sofort mit dem Ausfall eines wichtigen Bauelements. Ist das noch dazu für die Begrenzung der Ausgangsspannung zuständig, wirkt es sich anschließend als Katastrophe für die angeschlossene Schaltung aus. Man muß diese Schaltungen also unbedingt vor Kurzschlüssen (und auch Überlastungen) schützen oder – besser – Schutzschaltungen vorsehen. In modernen integrierten Spannungsreglern sind solche Maßnahmen eingebaut.

Für die an ein Stromversorgungsteil angeschlossene Schaltung besteht eine weitere Gefahr in Falschpolung. Die Wirkung kann Elektrolytkondensatoren oder (und) Halbleiterbauelemente betreffen. Bedingt helfen dagegen eindeutige Beschriftung und unverwechselbare Anschlußgestaltung. Sicherer ist eine Schutzdiode entsprechend Bild 3. Das bedeutet allerdings bei Strömen im Milliamperebereich etwa 0,7V geringere Spannung für die Schaltung. Meist genügt eine 1-A-Basteldiode, denn die Spannung bei Falschpolung liegt im allgemeinen weit unter der zulässigen Sperrspannung.

2.2. Chemische Spannungsquellen

2.2.1. Allgemeines

Für transportable Rundfunkgeräte z.B. wird heute in den Datenblättern bereits angegeben, mit welchen Richtbetriebszeiten man bis zum Batteriewechsel rechnen kann. Allerdings ist die verläßliche Angabe von Betriebszeiten, die an Batterien gebunden sind, stets mit großen Unsicherheiten gekoppelt. Von den Batterieherstellern werden die einzelnen Typen nach dem Haupteinsatzzweck zyklisch bestimmten Belastungen unterworfen. Es gibt Diagramme und andere Angaben dazu. Sie sind auch in Standards festgelegt. Doch welcher Anwender ist schon in der Lage, im Einsatz genau das nachzuvollziehen, und was kann er von Exemplaren erwarten, deren tatsächliche Lagerbedingungen er vor dem Kauf nicht kennt? Hinzu kommt die starke Abhängigkeit der verfügbaren Energie von den Betriebsbedingungen.

Empfohlen werden vor allem die 3 Baugrößen nach Bild 4: *R6* (14,5×50,5), *R14* (26×48,5) und *R20* (34,2×61,5). Werte in Klammern sind die Maximalwerte für Durchmesser und Länge. Zusatzbezeichnungen weisen auf bestimmte Haupteinsatzfälle hin: B für Beleuchtung, ein Kofferradiosymbol für diese Einsatzgruppe usw.

Die früher so beliebte Flachbatterie *3R12* (4,5V) dagegen, die Stabbatterie *2R10* (3V) und die 9V-Batterie *6F22* sind für den Neueinsatz nicht mehr zugelassen. Grundsätzlich gilt für alle Typen: Schon bei 0 °C ist nur noch mit 30 bis 70% der Betriebsdauer zu rechnen. Kühle

Lagerung ohne Belastung ist jedoch zu empfehlen. Ab 40 °C setzt verstärkte Selbstentladung ein, und bei 50 °C liegt die obere Einsatzgrenze.

Die Anfangsleerlaufspannung einer Zelle kann zwischen 1,55 und 1,7V betragen. Im Laufe der Entladung sinkt auch die Leerlaufspannung. Die Entladegrenze ist je nach Einsatzzweck unterschiedlich festgesetzt: 0,9V für Geräteeinsatz, 0,75V bei Beleuchtungstypen. Das bezieht sich auf die Werte bei der vorgegebenen „Standardbelastung". In den Betriebspausen erholen sich diese Primärelemente jeweils, so daß zu Anfang der nächsten Entladephase die Spannung bei Anschalten der Last höher liegt als zu Ende der vorangegangenen. Man erkennt das in Bild 5. Für die Darstellung wurde eine Zelle R20-A täglich 4 Stunden über 10Ω entladen. Bei größeren Entladewiderständen treten diese »Erholungsspitzen« nicht mehr so stark in Erscheinung. Bild 6 zeigt eine solche Kurve. Ihre Zeitachse hat einen anderen Maßstab als die in Bild 5! Es hat sich gezeigt, daß längere Entladepausen gegenüber Dauerentladung Kapazitätsgewinne bis zu 50% bringen können.

Der Versuch, Primärelemente zu regenerieren und dadurch ihre Kapazität zu erhöhen, ist schon oft unternommen worden. Seitens des Herstellers gibt es dazu jedoch eine klare Aussage, u.a. zu finden in entsprechenden Beiträgen der Zeitschrift *radio fernsehen elektronik* (Heft 9/1980 und Heft 4/1982): Die Regenerierung von Primärzellen ist umstritten und wird von der IEC grundsätzlich abgelehnt, da dies zu Explosionen führen kann. Man hat bei den Untersuchungen dazu u.a. festgestellt, daß die Exemplare sehr unterschiedlich reagieren. Das verbietet Serienschaltungen. Auch die Selbstentladung regenerierter Exemplare ist hoch. Fast die Hälfte der untersuchten Exemplare wurde beim Regenerieren undicht, und es trat Elektrolyt aus. Die Regenerierungsmethoden hatten auf diese negativen Ergebnisse keinen starken Einfluß. Insgesamt ist es also vernünftiger, Primärelemente auch als solche zu benutzen und am Ende ihrer Lebensdauer als Sekundärrohstoffe zu behandeln.

2.2.2. Werte für den Praktiker

Mit den durchschnittlichen Dauerlastströmen, also über mehrere Stunden eines Tages, sollte man bei *R6*-Zellen nicht über 40mA gehen. Kurzfristig sind bis zu 150mA erlaubt. (All das gilt nur für normale Zink-Kohle-Elemente, wie sie auch beim Amateur wegen ihres günstigen Preises bevorzugt eingesetzt werden.) 100 bis 200mA sind bei *R20* üblich, kurzzeitig dürfen es 300 bis 400mA sein. Generell gilt: Je niedriger der Laststrom und je kürzer die Wirkdauer im Verhältnis zur jeweiligen Belastungspause, um so höher wird die »Ergiebigkeit«. Der Praktiker rechnet dabei gern in Amperestunden (Ah), wie das bei Akkumulatoren üblich ist. Alterungs- und lagerungsbedingte Einflüsse seien dabei ausgeklammert. Je nach dem Wert der Grenzentladespannung (gerätebedingt) kommt man etwa auf folgende Spannen, abhängig von der Strombelastung: *R20* 3 bis 4,5Ah, *R14* 1,2 bis 2Ah, *R6* 0,3 bis 0,5Ah. Das sind ganz unverbindliche Überschlagswerte aus den unterschiedlichen Entladeangaben! Zumindest hat man damit jedoch einen in der Praxis ausreichenden Anhaltswert. Dennoch kann aus einem »Set« ein Exemplar viel früher den Dienst versagen als die übrigen, selbst bei gleichem Herstelldatum (auf das man dennoch beim Erstbestücken achten sollte!).

Für den Praktiker haben sich 2 Dinge bewährt:

1. Mit Primärzellen bestückte Geräte öfter kontrollieren; bei längerer Einsatzpause Zellen herausnehmen, bei Auslauferscheinungen Batteriekammer säubern und trocknen, Kontakte säubern und leicht mit Vaseline fetten.
2. Vor einem Einsatz, bei dem es auf zuverlässige Funktion ankommt, jedes Element auf Sicht überprüfen (Zinkmantel muß unbeschädigt sein!) und durch eine Belastungsmessung kontrollieren. Bei entsprechender Sachkenntnis und wenn immer das gleiche Kontrollinstru-

ment verwendet wird bevorzugt der Praktiker bei Zink-Kohle-Elementen die kurzzeitige Messung des Kurzschlußstromes. Beim Unerfahrenen kann das jedoch sowohl dem Meßgerät gefährlich werden wie dem Prüfling. Auf keinen Fall darf man diese Methode auf Alkali-Mangan-Elemente oder gar auf Akkumulatoren übertragen. Ihr Innenwiderstand ist dafür meist viel zu klein, der mögliche Strom übersteigt weit das Zulässige, und auch das Prüfgerät kann Schaden nehmen.

Bild 7 zeigt, daß es auch weit weniger dramatisch geht. Dieses charakteristische Entladediagramm einer *R20* A-Primärzelle bei 5 Ω täglich 4 Stunden enthält eine wichtige »Zweitinformation«: Nur die Klemmenspannung produktionsfrischer Zellen bleibt einige Minuten im Bereich der Nennspannung, wenn die Zelle mit einem Widerstand von etwa 5 Ω belastet wird. Ein solcher Widerstand mit einer Belastbarkeit von ½ bis 1 W sollte zur Grundausrüstung des Elektronikamateurs gehören. Nun genügen ein Voltmeter und etwas Erfahrung im Umgang mit Bild 5, und man kann recht gut abschätzen, was in einer solchen Zelle noch »drin« ist. Aber allzu wörtlich darf man diese Daten nicht nehmen, dafür geht es um chemische Vorgänge. Die Eigenschaften der beteiligten Stoffe haben eben einen gewissen, auch von der »Vorgeschichte« abhängigen Streubereich. Außerdem kann, wie bereits angedeutet, eine Zelle statt der Nennspannung von 1,5 V eine Anfangsspannung von bis zu 1,7 V haben. Das wiederum sagt jedoch leider nichts darüber aus, um wieviel sich die Entladekurve insgesamt dadurch verändert.

2.2.3. Wiederaufladbare Spannungsquellen

Sekundärelemente ist die Alternativbezeichnung zu den soeben besprochenen Primärelementen. Am bekanntesten dürfte der Begriff Akkumulator sein. Es sind im wesentlichen nach 2 unterschiedlichen Prinzipien arbeitende Systeme (Nickel-Kadmium und Blei-Bleioxid). Den Elektronikamateur interessieren im Bereich von Geräten auf Bauplanebene vor allem kleine dichte Typen. Auf Grund entsprechender Einsatzbestimmungen für Nichteisenmetalle gibt es allerdings Einschränkungen in der Anwendung von Akkumulatoren, hauptsächlich bei ortsfestem Betrieb. Die Übergänge sind jedoch »gleitend«.

Bild 8 zeigt die vom Amateur bisher alternativ zu den Primärelementen für seine Vorhaben bevorzugten beiden Typen: den dichten Bleiakkumulator »2 V 0,5 Ah« nach *TGL 3922*, altbekannt als *RZP 2*, und die 8,4-V-Batterie *7D-0115* aus 7 NK-Knopfzellen als Import aus der UdSSR mit 115 mAh Kapazität. Letztgenannte ist mit 12 mA 15 Stunden lang zu laden. Für den als bedingt nachladbar geltenden *RZP 2* sollte man mit höchstens 20 mA Anfangsstrom laden und mit einer heute relativ leicht realisierbaren Überwachungselektronik für die Ladespannung bei Zimmertemperatur. Die Abschaltspannung wird so gelegt, daß man noch unterhalb der beginnenden Gasung bleibt, also temperaturabhängig unter etwa 2,3 V. Auch dazu sollten eigene Erfahrungen gesammelt werden, wenn man diese Quelle verwendet. Sie gehört jedoch nicht mehr zum täglichen Handelsangebot und kommt daher nicht für neue Projekte in Frage. Insgesamt gesehen sind Primärelemente für transportable Geräte und auch für Stützzwecke mit Umschaltautomatik für kleinere stationäre Einheiten die sinnvollste Wahl.

2.3. Netzanschluß und Funktionssicherung

Die für ortsfeste Geräte (nahezu) ständig verfügbare Netzspannung ist wohl die rationellste Lösung für die meisten elektronischen Geräte. Selbst wahlweise transportable Einheiten, wie tragbare Rundfunkempfänger, verfügen heute meist über eingebaute oder ansteckbare Netzteile. Oft ist sogar mit dem Übergang auf Netzbetrieb infolge der Reserven moderner

Leistungsverstärker (bei entsprechender Kühlung) noch ein Zuwachs an umsetzbarer Ausgangsleistung verbunden.

Für den Amateur interessante »Hybride« in dieser Art sind Geräte, die im 24-Stunden-Betrieb als Überwachungs-, Anzeige- oder Kommunikationsmittel arbeiten. Sobald nämlich doch einmal durch äußere oder auch im eigenen Bereich auftretende Defekte ein Netzausfall die Funktion gefährdet, sollte eine Überbrückungsbatterie automatisch mindestens die wichtigsten Funktionen über einen gewissen Zeitraum aufrechterhalten können. In einem früheren Bauplan (Nr. 59) wurde sogar eine Schaltung vorgestellt, die einen solchen Ausfall signalisiert. Je nach Umfang und Wertigkeit der betroffenen Anlage läßt sich ein solche signalisierende Überwachung auch zu einer komfortablen Umschaltautomatik auf Überbrückungsbatterie ausbauen. Die einfachste Maßnahme besteht dagegen im Sinne des bereits erwähnten Bildes 3 in einer Diode zwischen Batterie und Netzteil mit folgenden Randbedingungen:

- Netzteilbetriebsspannung muß im Normalbetrieb mindestens um die Diodenflußspannung über der höchsten Batteriespannung liegen;
- Batteriespannungsbereich, vermindert um die Diodenflußspannung, muß noch Gerätefunktion garantieren können;
- Batteriekapazität und zulässiger Laststrom müssen den zu erwartenden Belastungen (Zeit und Strom) gewachsen sein.

Im Übrigen sollte man das Gesamtgerät so gestalten, daß die Überbrückungsbatterie nur das »datenhaltige Überleben« der Funktion garantiert, während leistungsintensive Einheiten solange nicht mit versorgt werden. Als Beispiel sei eine Uhr mit Leuchtanzeigen genannt. Bei Netzausfall versorgt man nur den Takt- und Zählerteil.

Bild 9 skizziert eine komfortable Alternative zu Bild 3, in dieser Auslegung für Ströme bis etwa 100 mA. Die Schaltung reagiert eindeutig auf das Absinken der Netzversorgungsspannung auf einen voreinstellbaren Wert und speist ab da die Batterieversorgung ein. Das ist eine vom Autor bereits in einem anderen Zusammenhang als Kleinregelteil für Batteriegeräte erfolgreich eingesetzte Schaltung. Sie nutzt die Batterie gut aus, weil sie noch mit einer Spannungsdifferenz von 0,1 bis 0,2 V (je nach Strom und Serientransistor) eine stabile Spannung bereitstellt.

Darüber hinaus enthält diese Schaltung eine Maßnahme, durch die die beginnende Batterieerschöpfung optisch angezeigt wird. (Man kann dieses Signal aber auch, wie bei anderen Schaltungen praktiziert, akustisch mit Hilfe einer Piezo-Phon-Kapsel unterstützen!) Im Basiszweig des Serientransistors liegt eine Leuchtdiode. Sie leuchtet im datenhaltigen Bereich unter den gegebenen Strom- und Stromverstärkungsbedingungen nur gering, d. h., solange die Batteriespannung noch hoch genug ist und die Strombelastung im vorgegebenen Bereich bleibt. In der Nähe der Lastregelgrenze wird sie langsam heller. Sobald jedoch der Regler die eingestellte Ausgangsspannung nicht mehr stabil halten kann (Sättigung des Serientransistors), leuchtet die Diode sehr hell und zeigt damit den Überlastfall an. Jetzt schaltet der Operationsverstärker auf Grund der wachsenden Differenzspannung zwischen seinen Eingängen nämlich voll durch. Der Basis-Höchststrom und damit auch der Strom durch die Leuchtdiode (dem sie auch noch gewachsen sein muß!) wird durch $I = (U_{Imax} - U_{BE} - U_F - U_{RestOPV})/R3$ bestimmt.

Die 2. Spezialität der Schaltung leitet sich aus einer für die Referenz benutzten Leuchtdiode ab, deren Flußspannung stärker vom Strom abhängt als beim *B 589 N*. Mit einem relativ hochohmigen Startwiderstand wird sie beim Einschalten aus der unstabilisierten Eingangsspannung versorgt, erhält dann jedoch einen größeren, aber stabilen Strom aus der stabilisierten Ausgangsspannung. Diese Lösung kann auch beim *B 589 N* angewendet werden und vermindert dessen ohnehin geringe Stromabhängigkeit noch weiter. Bild 10 zeigt für diese vielseitig nutzbare Schaltung eine Leiterplatte.

Doch zunächst zurück zum Ausgangspunkt Netzversorgung, für deren erreichbare Zuverlässigkeit die angebotene Schaltung bereits einen wirkungsvollen Beitrag liefern kann.

3. Vom Gleichrichter zur Referenzquelle

3.1. Gleichrichten und Sieben

Solange man keine besonderen Forderungen hinsichtlich Spannungskonstanz gegenüber Netzspannungs- und Lastschwankungen erhebt, besteht eine vom Wechselspannungsnetz abgeleitete Gleichspannungsversorgung aus den in Bild 11 erkennbaren Teilen: Ein Trenntransformator mit entsprechender Untersetzung stellt die gewünschte Niederspannung zur Verfügung. Sie wird hinter dem Gleichrichter zu einem Gemisch aus Wechsel- und Gleichspannung, d.h. zu einer pulsierenden Gleichspannung. Elektrostatische und in Spezialfällen elektromagnetische Speicherelemente stellen daraus eine Gleichspannung her, die nur noch einen nicht mehr störenden Brummanteil enthält. Diese Speicherelemente sind Kondensatoren und ggf. Drosseln.

Der am 1. Kondensator hinter dem Gleichrichter, am sogenannten Ladekondensator, verbleibende Brummanteil entspricht etwa der in Bild 12 angegebenen Faustformel. Bei höheren Ansprüchen vermag die Schaltung nach Bild 13a diesen Wert zu vermindern. Kehren wir noch einmal zum Transformator zurück. Sein grundsätzlicher Aufbau ist bekannt: Das magnetische Wechselfeld der Primärspule erzeugt in der Sekundärspule eine hauptsächlich vom Windungsverhältnis und der Höhe der Primärspannung (in diesem Fall 220 V) abhängige Spannung. Der entnehmbare Strom hängt u.a. von Drahtdicke, Eisenquerschnitt und Oberfläche des Transformators ab sowie von der sich einstellenden zulässigen Übertemperatur, bedingt durch die Verluste in Kupfer und Eisen. Man ordnet daher jeder Transformatorgröße eine bestimmte zulässige Leistung zu. Sie hängt allerdings auch von der verwendeten Blechsorte ab. Der in Amateurkreisen noch ziemlich verbreitete M-Schnitt hat folgende Richtwerte bei Dynamoblech:
M42 3 VA, *M55* 12 VA, *M65* 25 VA, *M74* 50 VA, *M85* 70 VA, *M102a* 120 VA, *M102b* 165 VA.
Die Angabe VA besagt, daß es sich um das rein zahlenmäßige Produkt aus Strom und Spannung ohne Berücksichtigung einer Phasenverschiebung handelt, d.h. um eine Scheinleistung. Die tatsächlich verfügbare Wirkleistung ist kleiner. Im allgemeinen tragen handelsübliche Fertigtransformatoren entsprechende Daten.

Doch nun zur Kombination Gleichrichter – Kondensator. Es leuchtet ein, daß ein geladener Kondensator nur dann noch weiter geladen werden kann, wenn die Ladespannung seine augenblickliche Spannung übersteigt. Jede Kombination aus Gleichrichter, Kondensator und Last wird daher 2 charakteristische Ströme aufweisen: Der 1. ist ein kontinuierlicher, nur wenig »welliger« Strom durch die Last. Die Welligkeit ist um so kleiner, je mehr Ladung der Kondensator gespeichert hat, d.h., je weniger seine Spannung in der Belastungsphase abnimmt. Der 2. Strom ist ein periodisch unterbrochener Ladestrom, der den Laststrom weit übertrifft, denn er kann nur zu einem Teil der Periodendauer der Spannung fließen. Das ist die Zeit, in der der Augenblickswert der Wechselspannung größer ist als die Summe aus Kondensatorspannung und Durchlaßspannung des Gleichrichters. Bild 12b gibt dazu einen qualitativen Überblick. In dieser zunächst betrachteten 1-Weg-Gleichrichterschaltung erkennt man 2 für den Gleichrichter wichtige Dinge:

- Der Gleichrichter wird in der Sperrphase jeweils kurzzeitig mit der doppelten Scheitelspannung belastet. Bei einer Sinusspannung von z.B. 10 V sind das rund 28 V! Daher muß der Gleichrichter nicht nur nach einem wesentlich höheren Strom ausgewählt werden, sondern im Falle eines Ladekondensators auch noch für eine beträchtlich höhere Spannung, als es die Daten der anzuschließenden Schaltung vermuten lassen.
- Der Gleichrichter ist außerdem durch den meist noch viel höheren Einschaltstromstoß gefährdet. Dieser kommt zustande, wenn gerade bei Spannungsmaximum eingeschaltet wird. Der dabei noch ungeladene Kondensator wirkt wie ein Kurzschluß.

Der 2. Punkt wird wesentlich vom Innenwiderstand des Transformators beeinflußt. Dazu gehört auch der von der Primärseite mit dem Übersetzungsverhältnis auf die Sekundärseite »heruntertransformierte« Widerstand der Netzwicklung. Besonders bei größeren Typen mit dadurch niedrigen Innenwiderständen kann ein zusätzlicher Widerstand zum Schutz des Gleichrichters erforderlich werden. Dafür gilt, daß die Summe aus Transformatorinnenwiderstand und Schutzwiderstand bei sekundärer Scheitelspannung den möglichen Strom auf einen Wert unterhalb des zulässigen Einschaltspitzenstroms des Gleichrichters begrenzt. Für die Reihe *SY 360* sind z.B. 40 A zugelassen, während der periodische Spitzenstrom 8 A betragen darf.

Ein weiterer Punkt betrifft die Mindestkapazität des Ladekondensators, bezogen auf einen bestimmten Laststrom. Früher gab man dafür die zulässige Brummspannung an, die sich leicht oszillografisch feststellen läßt. Seit längerer Zeit wird jedoch auf den Brummstrom bezogen, der die größere Aussagekraft bezüglich der im Kondensator entstehenden Verlustwärme hat. Und ebendiese darf nicht zu hoch werden. Als Faustformel rechnet der Praktiker für jedes Ampere etwa 3000 μF. Es ist also gefährlich, gegenüber Schaltungsvorgaben beim Kondensator sparen zu wollen!

Aus all dem ergibt sich, daß auch die richtige Auslegung einer so einfach aussehenden Schaltung überlegt sein will.

Außer bei benötigten Strömen, die im Verhältnis zur Leistung des Transformators klein sind, sollten Brückengleichrichter eingesetzt werden (»Graetz-Brücke«). Bei 2 gleichen Wicklungshälften verwendet man Gegentaktschaltungen. Die Brückenschaltung hat den Vorteil, daß jeder der 4 Gleichrichter auch bei Kondensatorlast nur mit der einfachen Scheitelspannung belastet wird, sofern nicht durch Sperrströme eine Unsymmetrie zustande kommt. Diese läßt sich bei Bedarf mit Widerständen parallel zu den Gleichrichtern ausgleichen, deren Werte ein Mehrfaches des Sperrstroms zulassen. Solche Maßnahmen sind jedoch im Niederspannungsbereich von Bauplanobjekten überflüssig. Bei Brücken- wie bei Gegentaktschaltungen ist die Strombelastung des einzelnen Gleichrichters nur halb so groß wie bei der Einwegschaltung, und die niedrigste Frequenzkomponente der Brummspannung liegt bei der doppelten Netzfrequenz. Das bedeutet kleineren Aufwand beim Sieben.

Einweggleichrichten sollte man schon darum auf Sonderfälle mit kleiner Leistung beschränken, weil die in den Transformator hineingesteckte Energie nur immer in einer der beiden Halbwellen weitergegeben wird, während die andere Halbwelle nur zu erhöhten Verlusten im Transformator führt – im Eisen des Kerns wie im Kupfer der Primärwicklung. Schließlich ist der Transformator kein Gleichstromübertrager!

Gleichrichter und Kondensatoren werden häufig zu Spannungsvervielfacherschaltungen kombiniert. Bei kleiner Eingangsspannung beachte man den Flußspannungseinfluß auf die Ausgangsspannung!

3.2. Gleichrichterbauelemente

Im Bauplanbereich kommt man meist mit der bereits erwähnten Baureihe *SY 360* aus. Durch eine Zusatzzahl hinter einem Schrägstrich wird die Höhe der Scheitelsperrspannung angegeben: /05 steht für 50 V, /1 für 100 V usw. Die zulässigen Spitzenströme wurden bereits genannt. Als Dauergrenzstrom bei Einwegschaltung und Widerstandslast sind 0,95 A zugelassen. Die

Zuleitungsdrähte sind bei diesen Bauelementen die wesentlichen Wege für die Ableitung der entstehenden Verlustwärme. Man sollte daher die zugehörigen Lötaugen flächenhaft ausbilden, um die Wärmeabfuhr zu verbessern. Achtung! Diese Typenreihe soll nur für Frequenzen bis 1 kHz benutzt werden! Alternativ steht u. a. die Reihe *SY 345* zur Verfügung, für die Angaben bis 30 kHz gemacht werden.

Den doppelten nichtperiodischen Spitzenstrom und 3-fachen Dauergrenzstrom gegenüber der 1-A-Reihe erlauben die Gleichrichterdioden der Reihe *SY 351*, ebenfalls wieder bis 1 kHz einsetzbar. Noch höhere Ströme bzw. auch höhere Frequenzen bieten beispielsweise Silicium-Leistungsdioden der Reihe *SY 180* bzw. *SY 185* (letztgenannte bis 30 kHz, die Reihe *SY 180* nur im Netzfrequenzbereich). Sie sind am M8-Gewindeanschluß an ihrem Metallgehäuse zu erkennen. Ebenfalls im Metallgehäuse befinden sich die Einpreßdioden der Reihe *SY 170/171*, die vor allem in der Kfz-Elektrik eingesetzt werden. Mit 25 A kann man alle diese Typen periodisch belasten.

Sicherlich ebenso interessant wie dieser repräsentative Querschnitt durch das vielfältige Angebot an Gleichrichterbauelementen ist für den Amateur eine andere Art Gleichrichter. Wenn 1 A zuwenig ist, kann man statt der Einzeldioden vom Typ *SY 351* auch komplette Brückengleichrichter benutzen. Das hängt jedoch von der örtlichen Situation ab. Die Themen der Baupläne sollen sich möglichst am tatsächlich erhältlichen bzw. kurzfristig zu erwartenden Angebot an Bauelementen orientieren. Längere Zeit angebotene Teile, auch wenn sie nicht im Produktionssortiment des Inlands enthalten sind, können daher als Alternative durchaus eine Rolle spielen. Auf Gleichrichterebene gehört zu diesen interessanten Objekten der 3-A-Brückengleichrichter *3 PM 05*, ein Import aus der SR Rumänien. Seine 4 Gleichrichterelemente sind in einem prismatischen Gehäuse untergebracht. Die nur 4 Anschlüsse eignen sich sowohl für platzsparende Leiterplattenmontage wie für Direktverdrahtung. Das ist gerade für manche schnell erforderliche Spannungsquelle auf dem Amateurarbeitsplatz eine günstige Lösung. Das Gehäuse ist eindeutig beschriftet, so daß sich weitere Informationen erübrigen. Bild 14 zeigt eine Übersicht gebräuchlicher Gleichrichterbauformen, in denen auch dieser Typ enthalten ist.

3.3. Transformatoren »von der Stange«

Es ist nicht der fast schon »professionelle« Amateur, der seine Informationen aus Bauplänen bezieht. Seine Objekte bewegen sich leistungsmäßig oft im Bereich einiger zehn Watt. Das trifft sowohl auf Leistungsverstärker zu wie auf anspruchsvollere Vorhaben der Computertechnik. Sein Transformatorbedarf beginnt also bei *M65* oder auch *LL48* u. ä. Doch auch auf dieser Ebene findet sich manches Brauchbare im Handel. Man muß nur den richtigen Zeitpunkt treffen, denn gefragte Typen setzen sich eben schnell um.

Weiter »unten« ist es einfacher. Die obere Grenze liegt hier wohl da, wo von der Spielzeugeisenbahn Netzanschlußgeräte vorhanden sind. Entweder hat der Amateur dieses Hobby hinter sich, oder der oft geringe zeitliche Nutzungsgrad dieser Geräte erlaubt »multivalenten« Einsatz. Man sollte sich jedenfalls davor hüten, eine Stromversorgungseinheit unabhängig vom Transformatortyp zu optimieren oder gar zwischen unterschiedlichen Transformatoren mit ihr zu pendeln. Dazu sind stets die weiter vorn erläuterten Umstände zu bedenken. Bereits 2 V mehr Leerlaufspannung – und ein 25-V-Elektrolytkondensator kann auf Dauer überfordert sein, während ein 40-V-Typ, der das vermeiden könnte, im gegebenen Volumen nur mit der halben Kapazität aufwartet. Allerdings gibt es modernere Ausführungen, bei denen bereits doppelte Werte im gleichen Volumen untergebracht worden sind wie noch vor wenigen Jahren. Der Amateur hat jedoch nicht immer Zugriff zum neuesten Typ.

Umgekehrt betrachtet: Ein bezüglich −15% (der untersten üblicherweise zu erwartenden Netzspannungstoleranz) gerade so »ausgeknautschter« Regler trifft plötzlich auf einen Transformator mit etwas höherem Innenwiderstand. Schon ist das Gerät nicht mehr voll einsatzfähig, wenn man das auch bei Netznennspannung noch nicht merkt.

Einen sinnvollen Einsatzbereich gibt es für die beiden wohl am weitesten verbreiteten Eisenbahntransformatoren nach Bild 15 für Experimentiernetzteile im Bereich unterhalb von etwa 1 A, und das aus mehreren Gründen:

- Beide Typen liefern bereits eine in ihrer Höhe voreinstellbare, wenn auch pulsierende Gleichspannung, deren Richtung allerdings umkehrbar ist. Das erfordert Schutzmaßnahmen für die zu speisende Schaltung.
- Die Stellbarkeit ist ein gutes Mittel zur Minimierung der Verlustleistung im angeschlossenen Regelteil. Es sind allerdings Informationen dazu abzuleiten, ob die eingestellte Überspannnung jeweils ausreicht.
- Der größere der beiden Typen stellt außerdem noch eine Wechselspannung bereit, die bei einer Belastung mit 1,2 A noch einen Nennwert von 16 V anbietet. Das führt zu einem noch folgenden interessanten Einsatzfall.

Die in Bild 16 zusammengefaßten Diagramme geben Unterstützung beim Einsatz dieser beiden vielseitigen Typen. Es handelt sich ja im Grunde bereits um Rohspannungsquellen für Gleichspannung, abgesehen vom 16-V-Ausgang des größeren Typs. Dort paßt jedoch gut der bereits beschriebene 3-A-Brückengleichrichter *3 PM 05*.

Die größte Verbreitung dürften die beiden in Bild 17 gezeigten Typengruppen haben. Bewußt wird von »Gruppen« gesprochen, denn im Laufe der Zeit haben sich Daten und Erscheinungsbild etwas geändert. Die heute allgemein erhältlichen Exemplare weisen höhere Leerlaufspannung bei insgesamt »weicherem« Verhalten auf. Sie sind damit gegen Defekte bei Kurzschluß noch besser geschützt. Diese für den Umgang günstige Eigenschaft auf Grund der geringen Kopplung zwischen Primär- und Sekundärwicklung widerspricht im Grunde den für Stromversorgungsteile anzustrebenden Bedingungen. Feste Kopplung bedeutet kleinen Innenwiderstand, also besser beherrschbare Daten, und kleines Streufeld. Die »elektromagnetische Verseuchung« der Umgebung, besonders durch belastete Klingeltransformatoren, bekommt der Amateur auf seinem Arbeitsplatz rasch zu spüren. Sie zwingt wiederum zu einer für die Sicherheit positiven Maßnahme: Der Transformator bleibt, wo er ist, berührungssicher in seinem Gehäuse, über eine vorschriftsmäßig angeschlossene Netzschnur mit der Steckdose verbunden. An ihr kann er »ewig« bleiben und selbstverständlich in einem trockenen Raum. Diese wichtige Forderung trifft ja auf die meisten Geräte der Konsumelektronik zu. Einer primären Sicherung bedarf es infolge der Innengestaltung bei diesen Typen nicht. Das ist ja andererseits eines der Probleme bei »härteren« Transformatoren: Es kann einen Lastbereich geben, der über der zulässigen Last liegt und dadurch den Transformator stark erwärmt, ohne daß die für die Nennlast ausgelegte Sicherung auf der Primär- oder Sekundärseite bereits anspricht. Auch das soll dem tiefer in diese Materie eindringenden Amateur bereits mit auf den Weg gegeben werden.

Die beiden Klingeltransformatortypen für 0,5 A und für 1 A bei jeweils 6 V Effektivwert (bei dieser Belastung!) wurden vom Autor bereits vor längerer Zeit untersucht. Die dadurch vielen Lesern sicherlich bekannten Kurven werden im Interesse der Arbeit mit dem vorliegenden Bauplan in Bild 18 teilweise nochmals wiedergegeben.

Eine letzte Gruppe inzwischen stärker verbreiteter schutzisolierter Kleintransformatoren existiert in den Steckernetzteilen älterer Taschenrechner. Mit einer Belastbarkeit um 150 mA und Spannungen zwischen 3 und 6 V liegen sie an der unteren Grenze des für kleine Amateurgeräte Interessanten. Mit der zunehmenden Anwendung knopf- oder solarzellengespeister Rechner mit LCD-Anzeige geraten sie häufig in die Hand des Amateurs. Man muß

ein solches Netzteil auf Grund der unterschiedlichen zu erwartenden Daten schon entsprechenden eigenen Untersuchungen unterziehen. Die teilweise unklare Herkunft solcher Einheiten legt jedoch die Empfehlung nahe, eine solches Netzteil vor dem Einsatz von einem in Sicherheitsfragen bewanderten Fachmann begutachten zu lassen – nicht jeder geschützt eingebaute Transformator entspricht unseren mit Recht strengen Sicherheitsvorschriften!

3.4. Stabile Verhältnisse

Aus Bild 12 ließ sich bereits erkennen, daß die von einer Gleichrichterschaltung gewonnene Gleichspannung stark vom entnommenen Strom abhängt. Für viele Zwecke ist das unerwünscht oder gar unzulässig. Dies und die Abhängigkeit von der Eingangsspannung läßt sich durch Stabilisieren beseitigen bzw. mindestens stark verringern. Dazu wird die Eigenschaft bestimmter Bauelemente ausgenutzt, daß ihre Spannung in einem gewissen Bereich des sie durchfließenden Stroms nahezu konstant bleibt. Über eine solche Kennlinie verfügen z. B. Z-Dioden. In neuerer Zeit hat man spezielle Referenzquellen entwickelt, die diese Bauelemente in dieser Eigenschaft noch weit übertreffen. Dazu gehört z. B. der *B 589 N*. Einfache Z-Dioden sind in der stabilisierenden Wirkung zwar weniger perfekt, doch mit den verfügbaren Typenreihen wird ein großer Anwendungsspielraum abgedeckt.

Man benötigt eine Mindesteingangsspannung, und eine Höchsteingangsspannung darf ebensowenig überschritten werden wie ein bestimmter Strom durch die angeschlossene Last. All das ist von den Daten der Z-Diode abhängig. Dazu weiter unten noch mehr.

Aus der Sicht des Bauplanlesers, der oft noch Einsteiger ist, zunächst einige Worte zu den Begriffen. Die soeben angesprochene Z-Diode vermag eine Spannung in einem gewissen Bereich zu stabilisieren. Diese Spannung leitet sich aus einer höheren, schwankenden ab. Solange der am Ausgang dieser Stabilisierungsschaltung entnommene Strom nicht zu groß wird, kann die Z-Diode die Spannung konstant halten. Ein echter Regler tut mehr: Es handelt sich dabei um einen geschlossenen Wirkungskreis, in dem ein Energie- (oder auch Masse-) Fluß entgegen allen Störgrößen auf einer einstellbaren Sollhöhe gehalten wird.

Im Fall des nun schon wieder beinahe »klassischen« Transistorreglers wird die Ausgangsspannung, die konstant gehalten werden soll, mit einer Sollspannung verglichen. Das kann eine Z-Diode sein oder bei höheren Ansprüchen eine Referenzquelle wie etwa der *B 589 N*. Stellt der den Ausgang überwachende Fühler im Vergleich mit dieser Referenzspannung eine Abweichung fest, greift er in die Regelstrecke ein und verändert deren »Durchlaßvermögen«. Dabei gibt es 2 Möglichkeiten: Beim Serienregler wird der Durchlaßwiderstand bei steigender Ausgangsspannung erhöht, beim Parallelregler dagegen verringert. Der letztgenannte ist im Grunde eine Art »steuerbarer Z-Diode«.

Solange sich das System innerhalb seines normalen Arbeitsbereichs bewegt, ergibt sich eine Ausgangsspannung, die bis auf eine ganz geringe, von der Systemverstärkung abhängige Abweichung nicht auf Eingangsspannungs- und Lastschwankungen reagiert. Gute Regler sind auch weitgehend temperaturunabhängig. Man kann unter bestimmten Bedingungen sogar negative Innenwiderstände erreichen, so daß die Ausgangsspannung mit der Belastung steigt. Für Spezialfälle kann das sinnvoll sein (z. B. für Motorregler in Kassettenrecordern), ebenso wie eine gewollte, gezielte Temperaturabhängigkeit.

Durch einen Eingriff in das System läßt sich sein Gleichgewichtszustand verschieben. Auch das ist nur in den vom System gegebenen Grenzen möglich. Insgesamt ist ein solcher Regler ein unter Umständen recht stark belastetes Gebilde. Die unerwünschten Schwankungen der Speisespannung werden von der versorgten Schaltung ferngehalten, doch die überschüssige Spannung bleibt über dem Regler. Zusammen mit dem ihn durchfließenden Laststrom ergibt sich eine thermische Belastung, die bei dieser Gruppe von Reglern oft das größte

Problem darstellt. Noch gefährlicher ist darum (beim Serienregler) ein Kurzschluß. Daher wird besonders bei Stromversorgungseinheiten, von denen kostspielige Schaltungen versorgt werden, oft ein hoher Aufwand an Schutzmaßnahmen getrieben. Das bezieht sich sowohl auf den Schutz des Reglers gegen Überlastung wie den der Schaltung gegen Überspannung bei Reglerdefekten mit »durchgreifender« Rohspannung. Vieles davon haben die Hersteller integrierter Reglerschaltkreise inzwischen den Schaltungsentwicklern abgenommen. Doch man kann nicht alles mit fertigen Lösungen abdecken. So bleibt der »diskret« aufgebaute Regler bisweilen doch noch eine vorteilhafte Alternative. Bevor auch dazu in Abschnitt 4. Beispiele gegeben werden, seien diese Grundlageninformationen mit einer kurzen Übersicht zu den soeben angesprochenen integrierten Reglerschaltkreisen abgeschlossen.

3.5. Einstellbare Reglerschaltkreise – kurze Übersicht

Entsprechend dem internationalen Sortiment stellt der VEB Kombinat Mikroelektronik 4 Typen von Spannungsreglerschaltkreisen her. 2 sind für positive und 2 für negative Spannungen gedacht. Sie unterscheiden sich innerhalb der Polaritätsgruppe in der Spannungsbelastbarkeit. Bild 10 zeigt die Bauform dieser Regler. Ihre Gestaltung erleichtert die meist nötigen Kühlmaßnahmen. In der Reihe »electronica« ist inzwischen mit Band 239 ein Titel erschienen, der ausführlich auf diese interessanten Schaltkreise eingeht. Dort findet man auch alle typischen Abhängigkeiten in Form von Diagrammen. Mit dem vorliegenden Bauplan wird es u. a. möglich, die dort angebotenen Schaltungslösungen von der in gewohnter Weise parallel zum Bauplan entstandenen *typofix*-Folie rationell in Leiterplatten umzusetzen. Man sollte für den Anfang über diese Schaltkreise mindestens dies wissen:

Die Regler der Reihe *B 3xxx* (*3170, 3171* für positive, *3370, 3371* für negative Spannung) zweigen ihre Betriebsenergie aus dem sie durchfließenden Strom ab. Bereits im Leerlauf wird daher ein exemplarabhängiger Mindeststrom gefordert, der im ungünstigsten Fall 10 mA betragen kann. Vielen Exemplaren genügen jedoch schon 5 mA und weniger. Das hängt auch von der aktuellen Differenzspannung zwischen Eingang und Ausgang ab. Gemäß Bild 20 liegt der Eingang bei den Positivreglern an Anschluß 3, bei den Negativreglern aber an Anschluß 2! 1 ist stets Steueranschluß. Zur Frage des Mindeststromes gibt es typische Kurven, die in Bild 21 wiedergegeben sind.

Zwischen Ausgang und Steuerspannungsanschluß steht die interne Referenzspannung von (etwa) 1,23 V. Sie ist äußerst stabil, auch gegen Temperaturänderungen. Der Mindesbetriebsstrom fließt über einen zwischen diese Anschlüsse zu schaltenden Widerstand nach Masse ab. Wenn also in der Minimalbeschaltung nach Bild 22 der Steueranschluß direkt an Masse liegt, ergibt sich die minimal mögliche Ausgangsspannung in Höhe der Referenzspannung, solange die Eingangsspannung um den Betrag der erforderlichen Differenzspannung höher ist.

Dieser Widerstand R1 darf für den ungünstigsten Fall also höchstens einen Wert von etwa 120 Ω haben. Da im allgemeinen höhere Ausgangsspannungen gewünscht werden, legt man den Steueranschluß nicht direkt, sondern über einen Widerstand an Masse. Durch ihn fließt also der von R1 und U_{ref} bestimmte Strom, und sein Wert ergibt sich aus diesem Strom und der Differenz von Ausgangs- und Referenzspannung. Exakt kommt zum Strom durch diesen Widerstand R2 noch der aus dem Einstellanschluß fließende Einstellstrom hinzu (I_{adj}). Er beträgt jedoch nur etwa 50 µA und ist relativ konstant. Damit gilt in guter Näherung für eine nach Bild 23a gewünschte Ausgangsspannung mit dem runden Wert von 1,25 V als Referenzspannung $R2 = R1\ (U_o/1{,}25 - 1)$. Das Diagramm nach Bild 23b erleichtert das Dimensionieren einer solchen Schaltung.

Man sollte auch bei Reglern für eine feste Ausgangsspannung R2 teilweise einstellbar

ausführen. Damit lassen sich die Exemplarwertstreuungen von Schaltkreis und Widerständen abfangen.

Alle diese Regler enthalten einen hohen Aufwand an Schutzmaßnahmen. Dennoch sind sie nicht »unverwundbar«. Es ist wie mit allen technischen Lösungen: Man muß sie mit Verstand anwenden. Einen solchen »kurzschlußgeschützten« Regler ständig mutwillig kurzzuschließen ist mit dem häufigen Vollbremsen beim Autofahren zu vergleichen. Bremsbeläge, Reifen und Sicherheitsgurt werden dabei laufend stark beansprucht. Schon das betriebsmäßige Anschalten an ungeladene große Kapazitäten oder an eine im kalten Zustand niederohmige Lampe stellt eine solche Beanspruchung dar, die auch ein B 3xxx auf Dauer nicht schadlos übersteht. Zumindest im oberen Bereich der Differenzspannung sollte man das schaltungstechnisch abfangen.

Im unteren Spannungsbereich sind dagegen viele Vorsichtsmaßregeln weniger kritisch. Und genau dort arbeiten meist Bauplanobjekte. Da ist es dann schon schön, wenn einmal ein unbemerkt gebliebener Kurzschluß nicht zuerst den Regler durchbrechen läßt und dann mit der vielleicht durchgreifenden höheren Eingangsspannung den Rest der Schaltung zerstört. Die wichtigste Wirkung der Schutzschaltung in der Reihe B xxx besteht nämlich darin: Setzt der Schaltkreis durch zu hohe Differenzspannung bei entsprechendem Laststrom zuviel Energie in Wärme um, zieht eine interne Thermosicherung eine Art Notbremse – der Strom sinkt, und der gefährliche Grenztemperaturbereich wird vermieden.

Entlasten und Abkühlenlassen ist dann die Regel, und schon funktioniert es wieder. Allerdings sollte man von vornherein angemessen kühlen. Da darf es ruhig ein Quadratzentimeter Kühlfläche mehr sein. Bekanntlich ist die Wärmeabfuhr von Leistungsbauelementen eine Wissenschaft für sich. Wärmeleitung und Wärmestrahlung gehorchen Gleichungen, deren Einflußgrößen auch von der Gerätekonstruktion abhängen. Schon die Lage (senkrecht oder waagerecht) ist von Bedeutung.

Auf den *B xxx* bezogen, müssen die in Bild 24 und Bild 25 enthaltenen Informationen genügen. Bild 25 zeigt den aus Blech gefalteten Kühlkörper mit der Bezeichnung »Typ U«, auf den sich die eine der Kurven in Bild 24 bezieht. Die untere gilt für den Schaltkreis allein, die obere für eine unendlich gut kühlende Fläche, die sich also auf Zimmertemperatur befindet.

Bei allen Kühlmaßnahmen ist zu beachten, daß sich die Kühlfahne des Reglers auf dem Potential des mittleren Anschlusses befindet. Im Gegensatz zu bekannten Festspannungsreglern führt sie damit je nach Typ Ein- oder Ausgangsspannung! Im Interesse eines geringen Wärmewiderstandes zwischen Regler und Kühlfläche sollte man ihn dennoch möglichst direkt aufschrauben und das gesamte Kühlblech isoliert montieren. Silikonfett zwischen Fahne und Blech füllt die sonst unvermeidlichen Hohlräume aus, so daß diese die Wärme besser leiten als die sonst vorhandene Luft. Die mit der Wärmeabfuhr verbundene Problematik sei wenigstens skizziert: Dem Chip wird eine aus dem Produkt von Differenzspannung und Laststrom resultierende Wärmeleistung zugeführt. Sie verteilt sich auf die Serienschaltung der Wärmewiderstände zwischen Chip und Gehäuse und zwischen Gehäuse (ggf. plus Kühlkörper) und Umgebung. Kühlbleche oder Kühlkörper können also nur den äußeren Wärmewiderstand verringern. Einige Kelvin je Watt umgesetzter Leistung bleiben dabei immer zu berücksichtigen. Gelingt es, mit unendlich guter Kühlung das Gehäuse auf Zimmertemperatur zu halten, kann die größte Wärmeleistung zugeführt werden, ohne daß die höchstzulässige Temperaturgrenze erreicht wird.

4. Schaltungspraxis

Es gibt heute eine große Anzahl von Möglichkeiten, genau die gewünschte Spannungsquelle zu realisieren. Dabei sollte stets die Regel des »so gut wie nötig« gelten, solange dadurch Aufwand gespart wird. Doch schon die Bewertung »gut« kann sich auf unterschiedliche Kriterien beziehen. Und wenn man dann noch als Amateur mit begrenzten Mitteln auf Fertigprodukte bestimmter Transformatoren angewiesen ist, wird manche industriell indiskutable Lösung gerade erst interessant. Aus Amateursicht soll die Spannungsquelle nicht gerade den größten Arbeitsanteil am Gerät ausmachen. Allerdings gibt es ja auch das »Gerät Spannungsquelle«. Da darf es schon etwas mehr sein.

Wenig Aufwand heißt, verbunden mit dem Ausweichen vor bisweilen recht komplexen Problemen, Ausklammern von Schaltreglerlösungen. Sie werden ja auch erst für größere Leistungen und (oder) extreme Speisespannungsvorgaben interessant. Es kann schon reizvoll sein, 5 V bei 3 A stabil zu erzeugen, wenn dazu aus einer Rohspannung zwischen 15 und 30 V nur etwas mehr als 1 A bzw. weniger als 0,6 A benötigt werden, je nach Aufwand und Wirkungsgrad. Man muß dann allerdings auch alle anderen Probleme beherrschen, ohne deren Lösung weder der gewünschte Wirkungsgrad noch eine geringe Störbelastung für die Umgebung erreicht wird. Darum zurück auf die Bauplanebene!

4.1. Z-Dioden-Regeln

Bisweilen sind Spannungen mit relativ kleinen Strömen und Strom-»hüben« zu stabilisieren. Das altbewährte Bauelement dafür ist die Z-Diode. Sie stellt den Grundtyp des parallel wirkenden Stabilisators dar, braucht also stets einen Vorwiderstand. Über ihm bleibt die überschüssige Spannung. Dazu ein Dimensionierungsbeispiel, gedacht vor allem für Einsteiger. Z-Dioden werden in 4 Reihen hergestellt: Reihe *SZX 18/1*; 5.6 ... 33; Reihe *SZX 19/* 5,6 ... 33; Reihe *SZX 21/1*; 5,1 ... 24; Reihe *SZ 600/0,75*; 5,1 ... 22. Die letztgenannte Reihe verträgt bei idealer Kühlung 8 W (der 0,75-V-Typ, geschaltet in Durchlaßrichtung, 3,5 W), die anderen Reihen sind für 600, 500 und 400 mW bei idealer Kühlung geeignet und unterschiedlich fein gestuft: 18 in *E12*-, 19 und 21 in *E24*-Stufung. 18 und 19 stellen Allglastypen dar, 21 befindet sich in Plastgehäuse, 600 in Metallgehäuse mit Schraubanschluß M4 und hat ebenfalls *E24*-Stufung.

Doch nun zum Beispiel nach Bild 26. Mit einem senkrecht gestellten Kühlblech aus blankem Aluminium von 200 mm Kantenlänge und 3 mm Dicke bei 45 °C Umgebungstemperatur kann eine Z-Diode der Reihe 600 mit bis zu 7,5 W belastet werden. Das ist allerdings schon eine konstruktiv oft bereits recht ungünstige Einheit. Die Angabe soll auch nur mögliche Grenzen andeuten.

Der Widerstand R_v begrenzt den durch die Z-Diode fließenden Strom, wenn der Ausgang nicht belastet wird. Er ist neben der Diode selbst für die Stabilität der Ausgangsspannung verantwortlich. Er errechnet sich aus folgenden Grenzbedingungen:

$$R_{Vmin} \geq \frac{U_{emax} - U_Z}{\frac{P_{Vmax}}{U_Z} + I_{Lmin}} \qquad R_{Vmax} \leq \frac{U_{emin} - U_Z}{I_{Zmin} + I_{Lmax}}$$

In diesen beiden Grenzen muß R_V bleiben. U_{emax} und U_{emin} sind die Gleichspannungen, die an den Punkten a und b auftreten. Dabei sind Schwankungen der Netzspannung von +10% bis −15% einzurechnen. U_Z ist die Spannung der Z-Diode, P_{Vmax} die zulässige Verlustleistung der Z-Diode unter gegebenen Kühlbedingungen (in W). I_{Zmin} bezeichnet den minimalen

Z-Diodenstrom für vernünftige Stabilisierung (1 bis 2 mA bei den Kleinleistungstypen, 10 mA bei Reihe 600 als Anhaltswerte). I_{Lmin} und I_{Lmax} sind die durch die Last und ihre Schwankungen bedingten Ströme. Setzt man U in V und I in mA ein, ergibt sich R in kΩ. Der genaue Wert der Ausgangsspannung ist im Rahmen der Exemplartoleranzen außerdem noch infolge der endlichen Kennliniensteigung vom Strom und schließlich von der Temperatur abhängig. Der 6,8-V-Typ hat dabei den kleinsten TK mit Toleranzen ins Positive, darunter treten auch negative TK auf. Oft ist die Serienschaltung einer Diode und einer 5,6-V-Z-Diode eine dem TK Null nahekommende Lösung. Das Beispiel nach Bild 26 genügt bereits, um einen kleinen Taschenempfänger statt einer Batteriebestückung mit 4×R6 aus dem Netz zu speisen. Die wenigen Bauelemente ab Gleichrichter passen oft sogar in die Batteriekammer. Dabei muß ausreichende Kühlung der Z-Diode gesichert bleiben. Bei der vorgesehenen kleinen Belastung, die sich in einem entsprechend großen Vorwiderstand ausdrückt, genügt ein 2 mm dikkes Aluminiumblech mit 90 mm×30 mm Fläche. Bringt man darauf einige isolierte Stützpunkte oder ein Stück Universalleiterplatte unter, lassen sich die Bauelemente auch ohne eigene Leiterplatte sauber montieren. Gegen Brummerscheinungen auf Ortssendern empfiehlt es sich, die Gleichrichter mit Keramikkondensatoren von 100 nF zu überbrücken bzw. einen solchen Kondensator über die Sekundärwicklung zu legen. Man beachte auch die Wärmeentwicklung im Vorwiderstand!

4.2. Kleinempfänger-Netzteil mit B 3170

In der soeben besprochenen Lösung wird in der Z-Diode um so mehr elektrische Energie in Wärme umgesetzt, je geringer der Laststrom ist. In dieser Leistungsklasse spielt das zwar noch keine Rolle, doch allgemein bedeutet es unnötige Verluste. Ein Serienregler wird dagegen erst warm, wenn man Strom entnimmt. In Verbindung mit dem großen Spannungshub des benutzten Klingeltransformators, aber auch mit dessen relativ hohem Innenwiderstand, erweist sich ein *B 3170* als gute Alternative. Das gilt trotz der erforderlichen Differenzspannung zwischen ungeregelter Eingangs- und stabilisierter Ausgangsspannung. Darüber hinaus ergibt sich so ein äußerst sicheres Netzteil. Der sonst maximal mögliche Kurzschlußstrom des Reglers beispielsweise kann bei einem Dauerkurzschluß gar nicht zustande kommen, da er bereits vom Klingeltransformator her auf etwa 1 A begrenzt wird. Auch unter diesem Aspekt genügen preisgünstige 1-A-Gleichrichter. (Bei höheren möglichen Kurzschlußströmen muß man ja auch an ihre Belastbarkeit denken!)

Soll die begrenzte, vom Klingeltransformator bereitgestellte Leistung voll genutzt werden, hat Eingweggleichrichtung keinen Sinn. Wenn auch beim Brückengleichrichter immer 2 Diodenstrecken in Reihe liegen, ist diese Schaltung bei fehlender Mittelanzapfung am Transformator die einzig sinnvolle. Die seit einiger Zeit bisweilen im Handel erhältlichen Brückengleichrichter 1 PM und 3 PM mit nachgestellter Spannungscodierung (05 genügt!) sind darum eine gute Wahl. 1 steht für 1 A und 3 für 3 A. Anderenfalls muß man je nach Strom auf 4×*SY 360* oder 4×*SY 351* zurückgreifen und hat etwas mehr Verdrahtungsaufwand.

Bild 27 zeigt die nach diesen Überlegungen entstandene Schaltung. Die Leiterplatte nach Bild 28 kann sowohl eine 1-A-Gleichrichterbrücke aufnehmen wie 4 Einzeldioden. Für Klingeltransformatorbetrieb sind die beiden Schutzdioden überflüssig. Die Leiterplatte kann auf diese Weise jedoch auch für höhere Spannungen benutzt werden. Dem sind dann die Spannungsklassen der Gleichrichter und Kondensatoren anzupassen. Typen bis 22 μF stehen ohnehin meist von vornherein mit höherer Spannung zur Verfügung.

Der Programmierwiderstand ist für 6 V Ausgangsspannung ausgelegt, was die Rohspannungshöhe bei kleiner Belastung gerade noch zuläßt (auch bei Netzunterspannung). Die Begrenzung des Stellbereichs verbessert Einstelltreffsicherheit und zeitliche Konstanz.

Der Reglerschaltkreis wird mit versetztem Mittelanschluß eingelötet, wie es das Leiterbild im Interesse größerer Lötaugen vorgibt. Notwendigkeit und Größe eines Kühlblechs hängen vom Strombedarf der zu versorgenden Schaltung ab. Dieser und die besonders bei Netzüberspannung auftretende höhere Differenzspannung lassen sonst die thermische Schutzschaltung ansprechen. Für das Einsatzbeispiel Kleinempfänger mit 150 mA Maximalbedarf bei 6 V Betriebsspannung (z. B. *AUDIO 113* vom VEB *EAW*) empfiehlt sich ein Messing- oder Aluminiumblechwinkel von wenigstens 1 mm Dicke und Leiterplattenbreite. Man faltet ihn gewissermaßen im Winkel von 90° über die Leiterplatte.

4.3. LS-TTL-Stromversorgung mit Spannungswächter

Mit 300 mA lassen sich in Low-Power-Schottky-TTL-Technik bereits eine ganze Anzahl Schaltkreise speisen. Diesen Strom vermag ein dem vorgestellten ähnliches Netzteil zu liefern, wenn es aus einem 1-A-Klingeltransformator versorgt wird. Dem höheren möglichen Kurzschlußstrom trägt der Einsatz eines 3-A-Gleichrichters Rechnung. Dafür sind die für Tonfrequenz-Analogschaltungen vorgesehenen zusätzlichen Siebmittel nicht erforderlich.

Die einwandfreie Funktion von TTL-Schaltungen ist jedoch an enge Spannungstoleranzen gebunden (5% Abweichung maximal vor allem nach unten). Bei Experimenten kann jedoch unbemerkt die Stromgrenze überschritten werden, so daß die Spannung sinkt. Das ruft Fehlreaktionen der Schaltung hervor. Mit einem Warnton vermag der Wächterzusatz nach Bild 29 darauf aufmerksam zu machen. Die Schaltung nutzt die hohe Spannungskonstanz der Referenzspannungsquelle *B 589* aus, ein äußerlich und auch in der Wirkung an eine plastumhüllte Z-Diode erinnerndes neues Bauelement mit 1,23 V Klemmenspannung im Strombereich von 50 µA und 5 mA. Wo es noch nicht verfügbar ist, tut es notfalls auch eine Leuchtdiode vom Typ *VQA 15*, die bei dem kleinen Strom auf etwa 1,8 V stabilisiert. Für diesen Fall halbiert man die Werte der beteiligten Widerstände R3 und R4.

Die Überwachung soll nicht nur bei Überlast, sondern auch bis zum Kurzschlußfall funktionieren. Dabei bricht die Spannung über dem Ladekondensator bei dieser Schaltungsauslegung und infolge des Transformatorinnenwiderstands auf unter 2,5 V zusammen, je nach augenblicklicher Netzspannung. Das bedeutet selbst für den verwendeten *B 861 D* schon Unterschreiten der garantierten Daten. Komparatorbetrieb war jedoch noch einwandfrei möglich. Es war vor allem dafür zu sorgen, daß die Eingangsspannung noch ausreichend weit von Massepotential entfernt blieb. Das bewirkt die Widerstandsbeschaltung des nichtinvertierenden Eingangs.

Die niedrige bei Kurzschluß verfügbare Spannung zwang zu einem zusätzlichen pnp-Transistor, damit der Piezosummer genügend laut signalisiert. Außerdem wurde in der zunächst mit *B 589* entwickelten Schaltung dessen Stromhub durch die vorstabilisierende Leuchtdiode begrenzt. Diese muß eine *VQA 23* oder *VQA 33* sein, damit eine entsprechend hohe Referenzspannung zustande kommt (die rot leuchtende *VQA 13* ist nicht geeignet!) Eine Leiterplatte für diesen auch für andere Zwecke interessanten und modifizierbaren Zusatz gibt Bild 30 wieder.

4.4. Null-Lösungen

Durch die innere Struktur des *B 3170* und der anderen Typen dieser Reihe sind Ausgangsspannungen unter 1,23 V nur mit zusätzlichem Aufwand möglich. Die bereits erwähnte Broschüre geht darauf näher ein und nennt weitere Literatur. Für den Einsteiger reicht der ohnedies mögliche Kleinstwert meist völlig aus, denn er entspricht z. B. der Spannung einer NK-Knopfzelle.

Wer dennoch wissen möchte, wie sich eine spezielle Schaltung unterhalb dieses Grenzwertes verhält, der kann die Lösung nach Bild 31 aufbauen. Die Leiterplatte in Bild 32 hilft dabei. Vorausgesetzt wird, da es ja um kleine Spannungen geht, Betrieb aus einem Klingeltransformator. Die sonst für »Null-Lösungen« erforderliche Hilfswicklung wird durch die 3 Dioden ersetzt. Das ergibt allerdings eine von Laststrom und Temperatur abhängige Spannung. Doch bei solchen Experimenten wird die Betriebsspannung im allgemeinen mit einem Voltmeter ständig kontrolliert, denn gerade beim Einstellen »exotischer« Werte muß man diese ja auch kennen. Die Schaltung ist für die genannten Klingeltransformatortypen ausgelegt. Schließlich darf die Referenzquelle nicht überlastet werden. Der Einstellstrom des Reglers wurde auf etwa 5 mA begrenzt, denn das genügt bei den vorliegenden Verhältnissen. Die Schaltung ist sowohl zum Experimentieren an und mit ihr als auch zum »Weiterdenken« geeignet.

Sind die Forderungen an die Einstellung bezüglich stabiler »Gegenspannung« weniger hoch, können V5, R_V (R3) und ggf. V4 weggelassen werden. Man erreicht dann »in etwa« 0 V und wird im Wert stärker vom Laststrom abhängig.

4.5. Labornetzteil für +15 V und −15 V

Bild 33 zeigt, wie man in Verbindung mit dem Fahr- und Zubehörtransformator *FZ1* schnell zu einem einstellbaren Netzgerät kommen kann, das sich zur symmetrischen Versorgung von Schaltungen bis zu 15 V in beiden Richtungen eignet. Die bereits dargestellten Diagramme zu diesem Transformator zeigen, daß der Netzspannungshub gewisse Beschränkungen bringt. Wer also nur bis 12 V stabil braucht, kann höheren Strom entnehmen. Dabei steigt, wie gezeigt, allerdings auch die erforderliche Differenzspannung über dem Regler. Bei ausreichender Kühlung sind noch 0,5 A auf jeder Seite möglich. Und stets bedenken: Gefährlich im Sinne thermischer Überlastung (also Ansprechen der internen Schutzschaltung) sind kleine Ausgangsspannungen bei großem Laststrom!

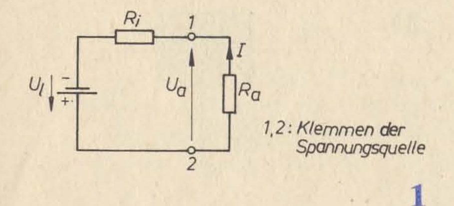
Als Anhalt für die zahlreichen in diesem Rahmen nicht erfaßbaren Kühlmöglichkeiten sei auf das Kühlkörperprofil *03840* verwiesen, das sich mit 72 mm Breite den Maßen der Leiterplatte nach Bild 34 gut anpaßt. Je nach auf ihm entstehender Wärmeleistung hat es bei z. B. wenig mehr als 100 mm Länge einen Wärmewiderstand von etwa 4 K/W (Bild 35).

Da man nur auf der Zubehörseite einen Brückengleichrichter braucht, kann die Leiterplatte auf einer Seite direkt aus dem auf Maximum gestellten Fahrtransformatorteil betrieben werden. Wird nur eine Spannung häufiger gebraucht (meist wird das die positive sein), sollte man sie an diesen Teil anschließen. Durch Zurücknehmen der Eingangsspannung auf kleinere Werte lassen sich dann bei niedrigerer Ausgangsspannung höhere Ströme ohne thermische Probleme entnehmen.

Eine weitere Modifikation für die Speisung eines solchen symmetrischen Netzteils zeigt Bild 36. Für vernünftige Daten sollte man eine 3-A-Gleichrichterbrücke einsetzen und einen Transformator mit entsprechend höher belastbarer Sekundärwicklung.

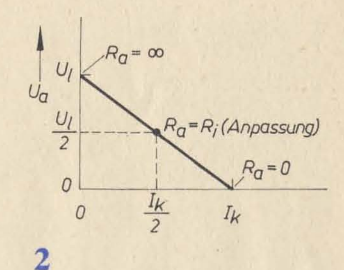
4.6. Prüfen von integrierten Reglern der Reihe B 3xxx

Eine kleine Prüfeinrichtung nach Bild 37 gibt bei verdächtigen Exemplaren Auskunft sowohl über Polarität des Typs wie über seinen Zustand. Nur wenn an der entsprechend gekennzeichneten Stelle der richtige Typ steckt, zeigt das Voltmeter die Referenzspannung an, sonst einen anderen Wert. Hat man auf beiden Steckplätzen keinen Erfolg, stimmt mit dem Regler etwas nicht.



1

Bild 1
Ersatzschaltung einer mit Außenwiderstand belasteten Gleichspannungsquelle mit Ur- oder Leerlaufspannung U_l und Innenwiderstand R_l



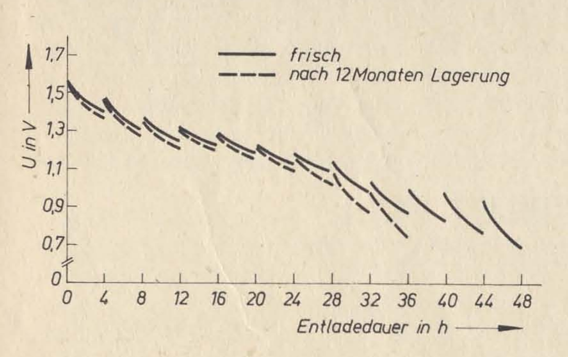
2

U_F
+
Batterie-anschlüsse
zu schützendes Gerät
−

3



4



5

Bild 2
Kennlinie des Zweipols nach Bild 1: $U_a = f(I_a)$

Bild 3
Schutzdiode verhindert Geräteschäden bei falscher Batteriepolung, vermindert jedoch die Betriebsspannung um den Wert der Flußspannung

Bild 4
Zur Anwendung empfohlene Typen von Primärelementen: *R6*, *R14* und *R20*

Bild 5
Entladung einer Primärzelle *R20A* täglich 4 Stunden über 10 Ω

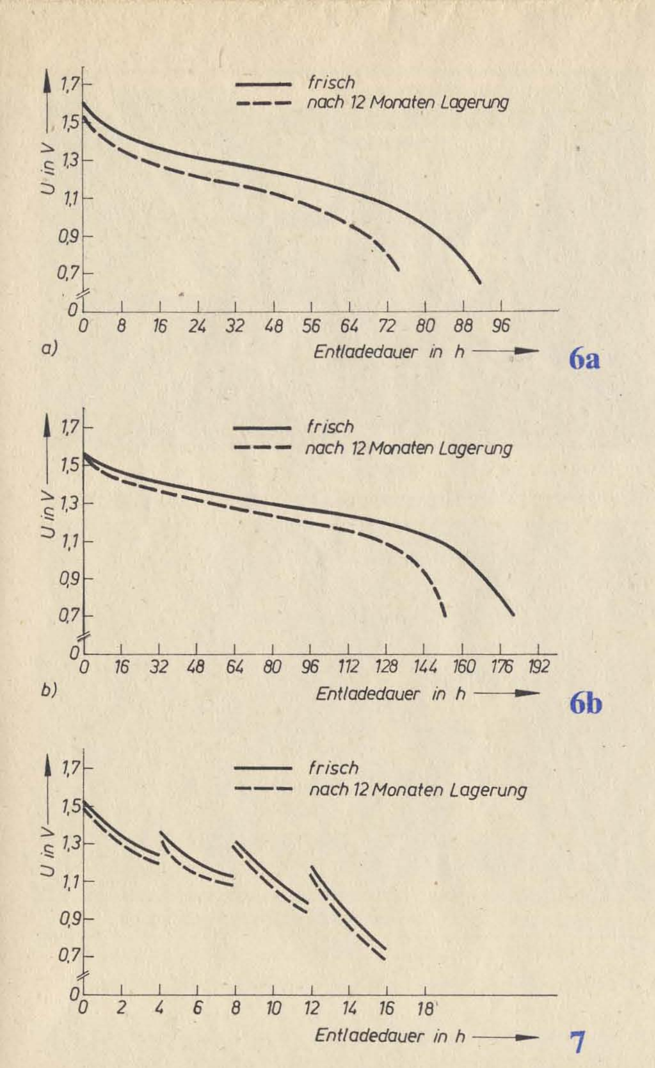
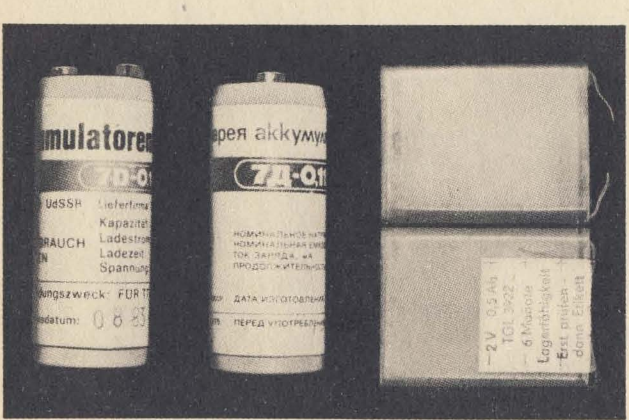


Bild 6
Dauerentladung einer Primärzelle *R20A*; a – über 20 Ω, b – über 40 Ω

Bild 7
Entladung einer Primärzelle *R20A* täglich 4 Stunden über 5 Ω. Mit Hilfe dieser Kurve läßt sich schon über eine kurze Messung der Batteriezustand abschätzen



8

Bild 8
Beim Amateur bisher verwendete wiederaufladbare Spannungsquellen: *RZP 2* (Bleiakkumulator 0,5 Ah; nicht mehr im Angebot) und *7 D 0115* (NK-Akkumulator 0,115 Ah)

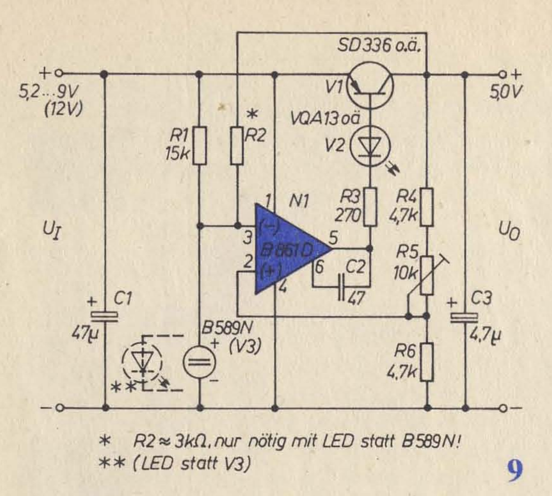
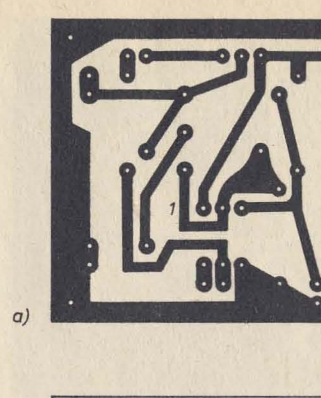
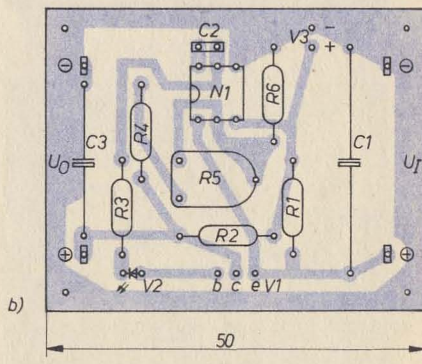
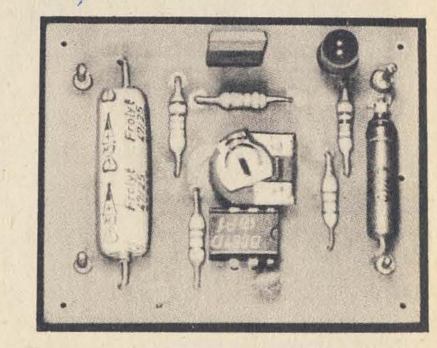


Bild 9
Diese bereits in anderem Zusammenhang vom Autor vorgestellte Schaltung ist auch für Batterieüberbrückungsbetrieb netzgespeister Geräte verwendbar. Besonderheiten: gute Ausnutzung der Batterie und optische Anzeige der beginnenden Batterieerschöpfung



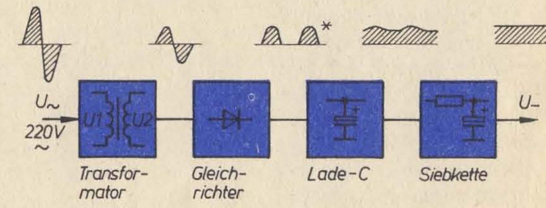


10a,b



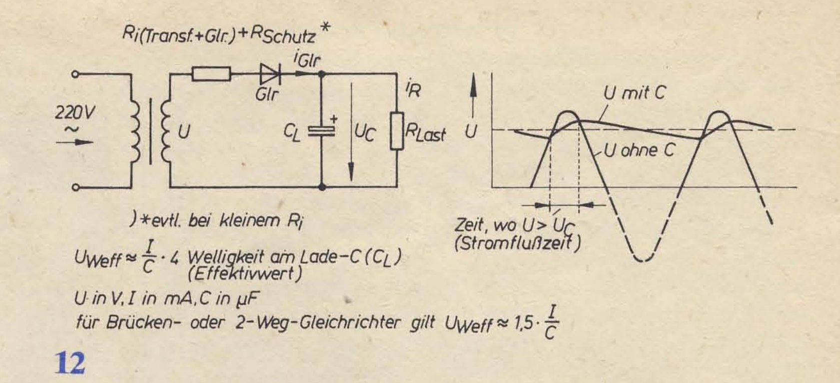
10c

Bild 10
Leiterplatte für Bild 9; a – Leiterbild, b – Bestückungsplan, c – Muster

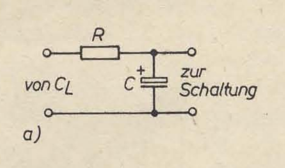


11

Bild 11
Teile eines ungeregelten Gleichspannungsnetzgerätes. Das angedeutete Oszillogramm am Gleichrichter gilt für den Fall, daß die folgenden Stufen noch fehlen. Die Welligkeit am Kondensator ist lastabhängig. Sie darf einen im zutreffenden Standard als Strom festgelegten Wert nicht überschreiten, damit der Kondensator nicht thermisch zerstört wird



12



Restbrummspannungsanteil a in %:
für $|U_{C\sim}| \leqq 0{,}5\,|U_{R\sim}|$
gilt $a \approx \frac{320}{p \cdot R \cdot C}$ in %

(p Anzahl der Gleichrichterwege, also 1 oder 2, R in kΩ, C in µF bei f = 50 Hz)

L
von C_L
C
zur Schaltung
b)

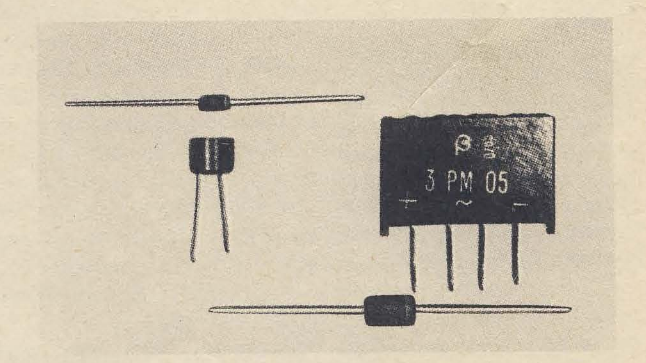
$a \approx \frac{1000}{p^2 \cdot L \cdot C}$ in %
(L in H, sonst wie oben)

13

Bild 12
Zur Wirkungsweise eines belasteten Einweggleichrichters mit Ladekondensator. Da sich der Kondensator im Leerlauf etwa auf den Scheitelwert der Wechselspannung auflädt, wird der Gleichrichter in der Sperrphase mit der doppelten Scheitelspannung belastet

Bild 13
»Passive« Siebschaltungen zur weiteren Verringerung des Netzbrumms; a – mit Widerstand, b – mit Drossel (heute weniger gebräuchlich)

Bild 14
Gleichrichterbauelemente für Ströme bis zu 1 A bzw. 3 A

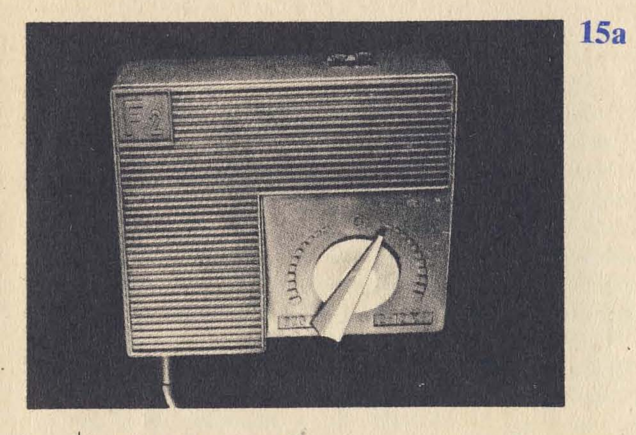


14

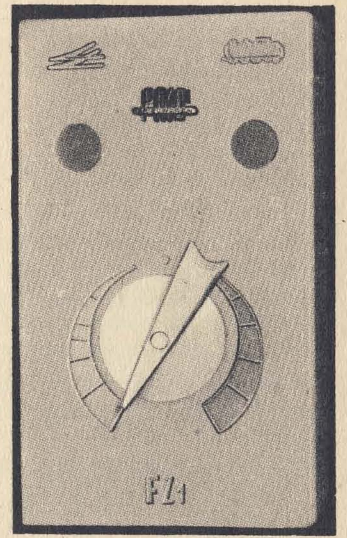
Schlenzig, Klaus:
Rund um die Spannungsquelle. – Berlin: Militärverlag der DDR, 1988. – 32 Seiten: 37 Bilder – (Bauplan 67)

ISBN 3-327-00562-1

1. Auflage, 1988 · Lizenz-Nr. 5 · Printed in the German Democratic Republic · Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Sachsendruck Plauen · Lektor: Rainer Erlekampf · Typografie: Catrin Kliche · Redaktionsschluß: 18. September 1987 · LSV 3539 · Bestellnummer: 7470632 · 00100

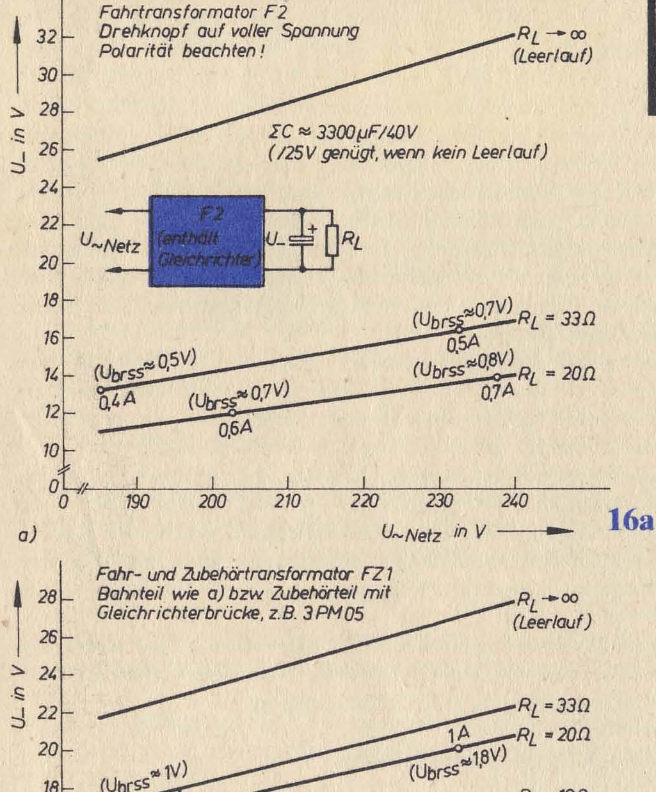


15a



15b

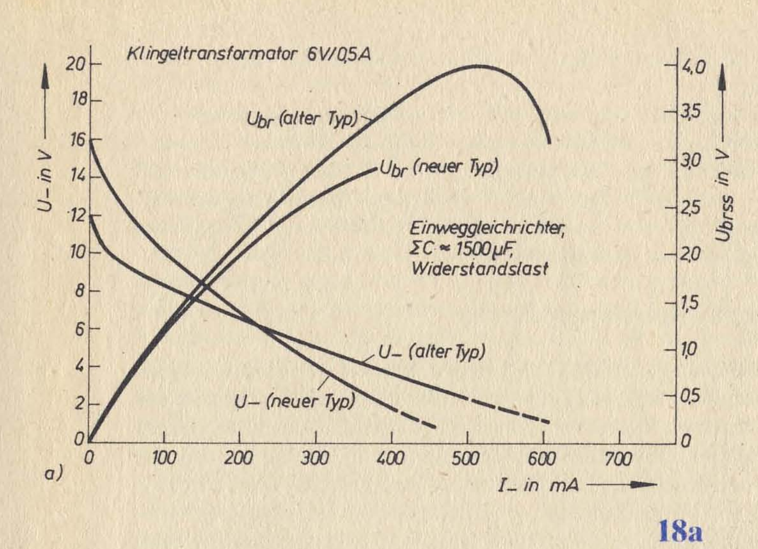
Bild 15
Leistungsfähige, sichere Netztransformatoreinheiten für Amateure; a – Fahrtransformator *F2* mit eingebautem Brückengleichrichter, b – kombinierter Fahr- und Zubehörtransformator *FZ1* für größere Leistung



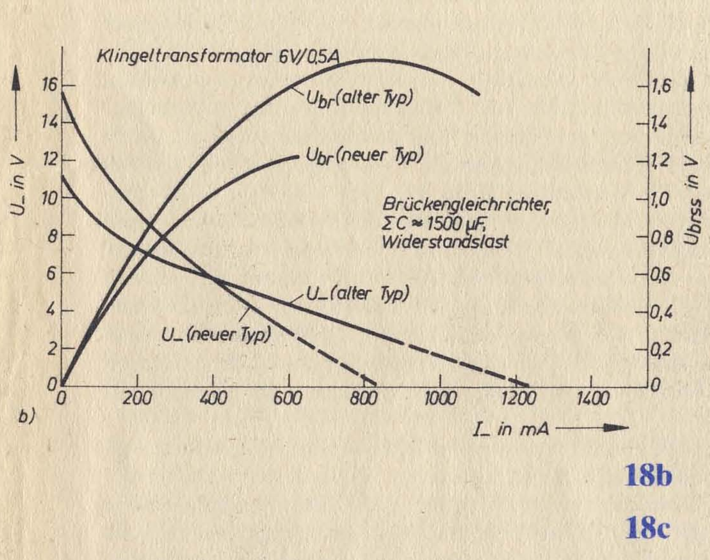
16a

16b

Bild 16
Maximale Ausgangsspannung für unterschiedliche Lasten unter den dargestellten Bedingungen bei vollem Netzspannungshub; a – für Typ *F2*, b – für Typ *FZ1* (Fahr- oder Bahnteil wie a, Zubehörteil mit 3-A-Gleichrichterbrücke, sonst praktisch identische Kurven)

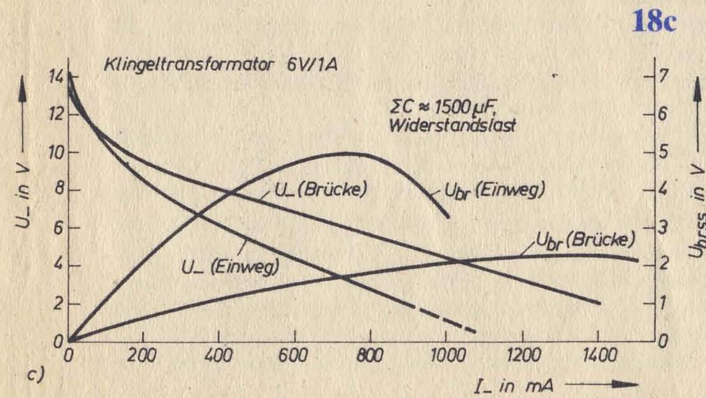


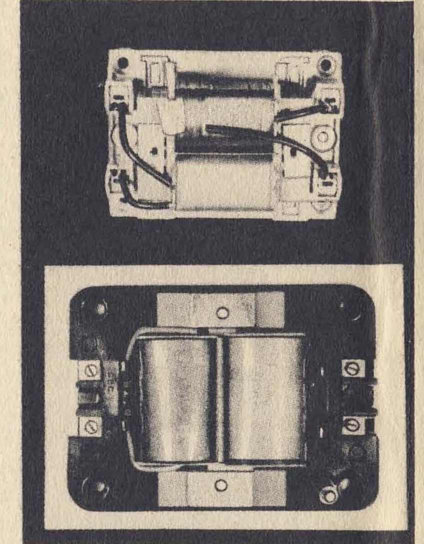
18a



18b

18c





17

Bild 17
Die bekanntesten Kleinspannungsquellen im Bereich von 6 V Nennspannung und 0,5 bzw. 1 A: Klingeltransformator 6 V/0,5 A und Klingeltransformator 6 V/1 A

Bild 18
Zur Erinnerung: Lastkennlinien der Transformatoren nach Bild 17 für ältere und neuere Ausführungen; a – 0,5-A-Typ bei (unwirtschaftlicher) Einweggleichrichtung, b – 0,5-A-Typ mit Brückengleichrichter, c – 1-A-Typ, reine Wechselspannungslast

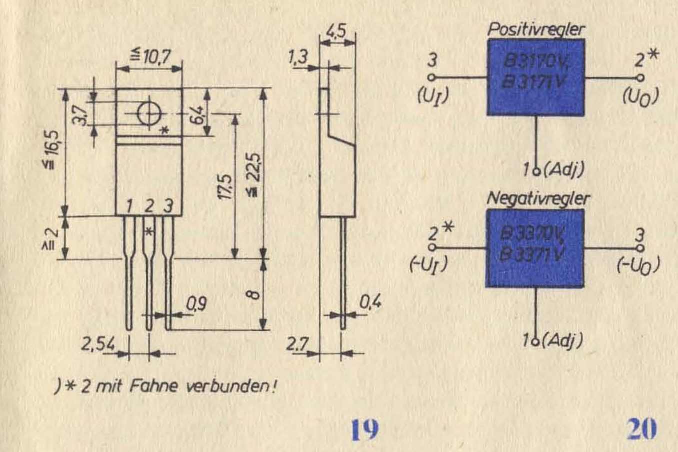
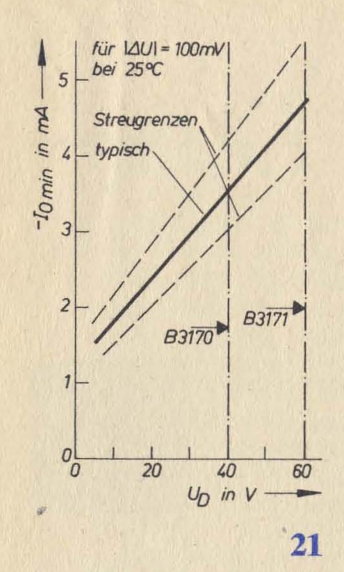


Bild 19
Bauform der integrierten Spannungsregler

Bild 20
Integrierte einstellbare Positiv- und Negativregler. Man beachte die unterschiedliche Anschlußbelegung und den Umstand, daß der Mittelanschluß (2) mit der Kühlfahne verbunden ist!

Bild 21
Typische Werte für den Mindeststrom eines Reglers der Reihe *B 3xxx* in Abhängigkeit von der über ihm liegenden Differenzspannung U_D bei einer Abweichung der ursprünglichen Ausgangsspannung um 100 mV bei 25 °C



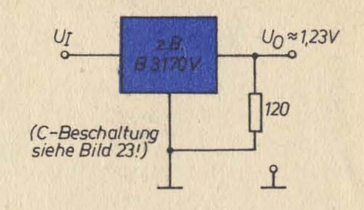
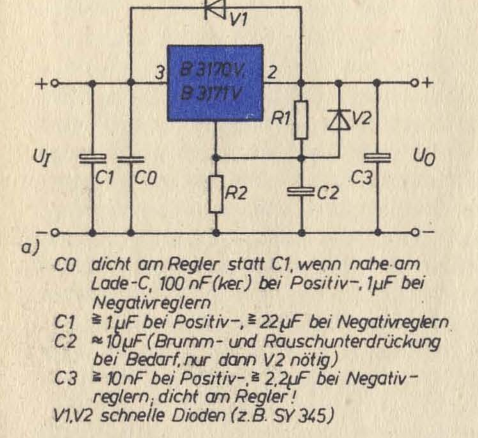


Bild 22
Minimalbeschaltung eines einstellbaren Festspannungsreglers als höherbelastbare Referenzquelle für etwa 1,23 V

17



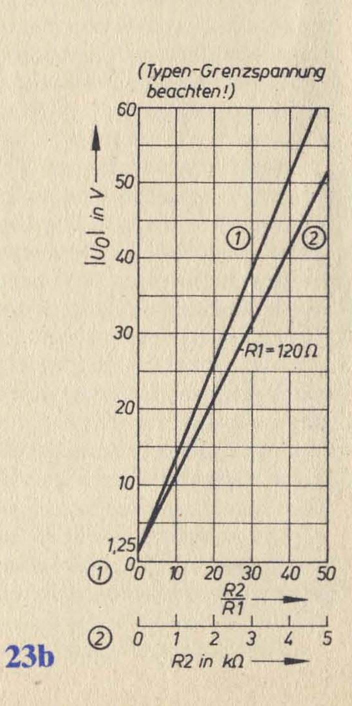
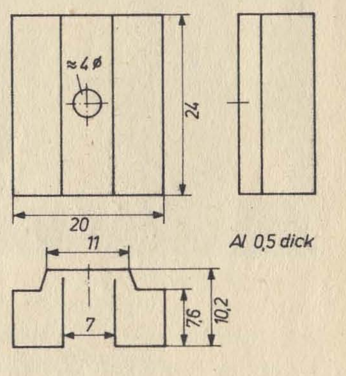


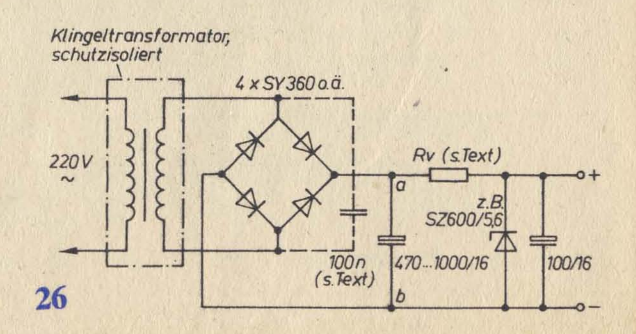
Bild 23
Einstellen einer höheren Spannung bis zum zulässigen Maximalwert (U_{Dmax} über dem Regler darf beim *B 3170* 40 V nicht überschreiten!); a – Beschaltung, b – schnelles Abschätzen der Beschaltungswerte

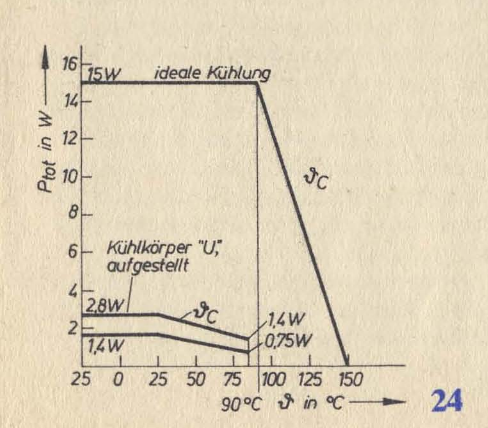
Bild 24
Belastbarkeit der Reihe *B 3xxx* je nach Kühlmaßnahmen

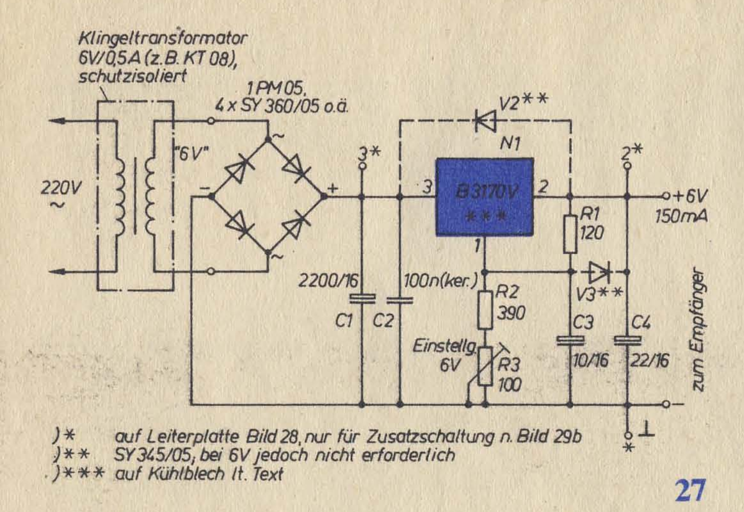
Bild 25
Der in Bild 24 genannte Kühlkörper »Typ U« (Faltteil)

Bild 26
Z-Dioden-Kleinnetzteil, typische Beschaltung. Der Kondensator parallel zur Z-Diode ist oft nicht erforderlich, denn die Z-Diode selbst reagiert ausreichend schnell auf Last- oder Spannungsänderungen (ihr »dynamischer Innenwiderstand« ist klein)









27

Bild 27
Kleinempfänger-Netzteil
6 V/150 mA

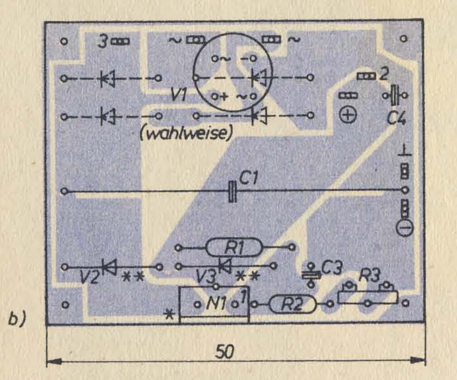
Bild 28
Leiterplatte zu Bild 27;
a – Leiterbild, b – Bestükkungsplan

Bild 29
300-mA-Netzteil für LS-TTL-Schaltkreise u. ä.; a – Grundschaltung für Speisung aus Klingeltransformator 6 V/1 A, b – Wächterzusatz für Unterspannungssignal

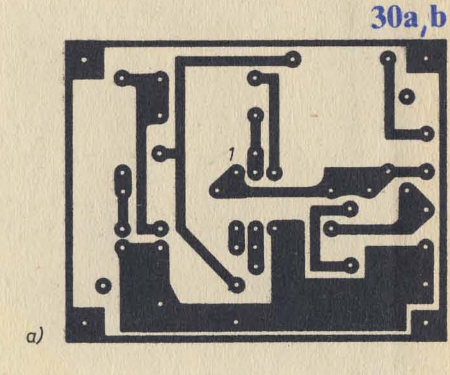
Bild 30
Leiterplatte zu Bild 29b;
a – Leiterbild, b – Bestükkungsplan

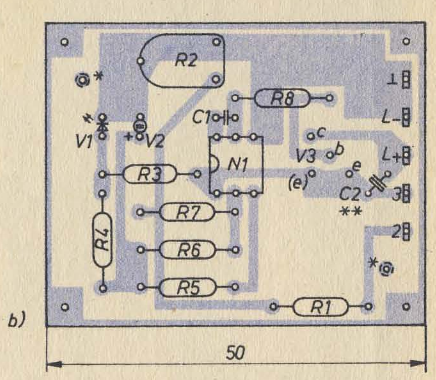
28a, b

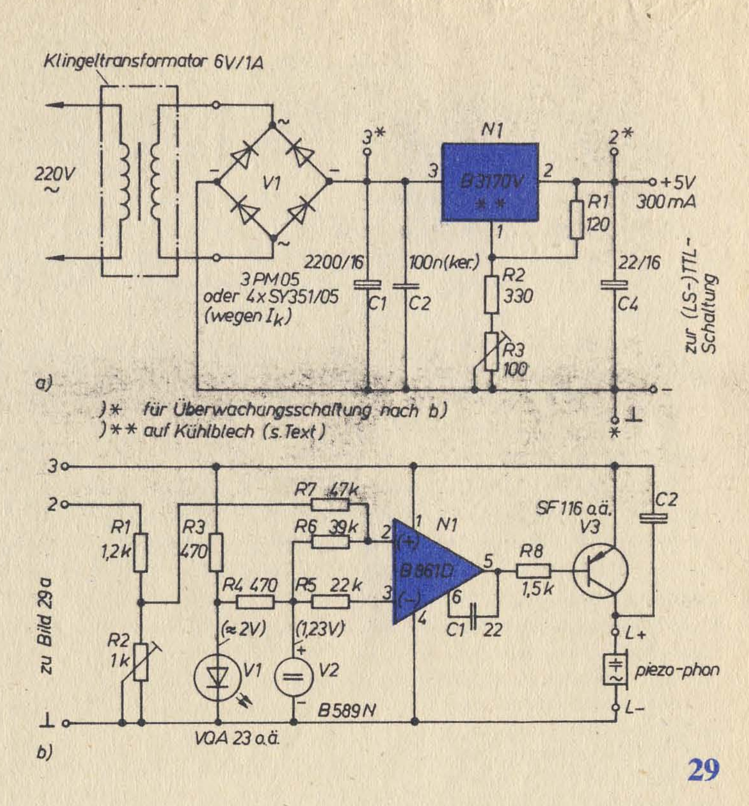
a)



30a, b



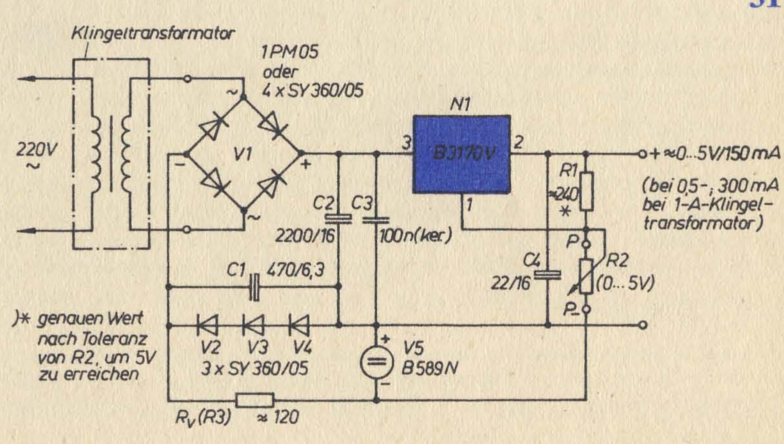


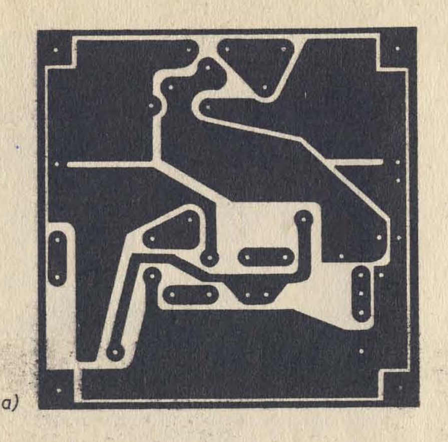


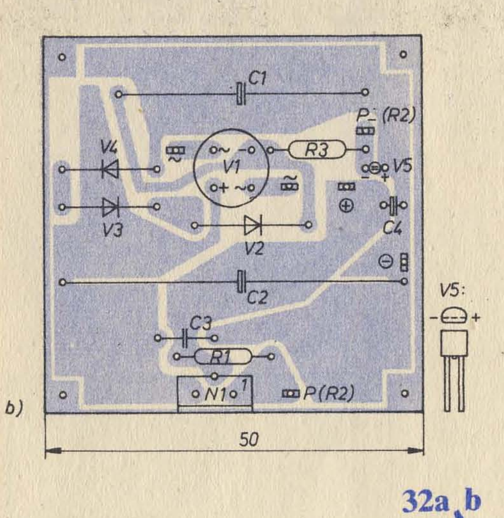
29

Bild 31
Diese Schaltung zur Einstellung von Ausgangsspannungen unterhalb von 1,23 V kann noch vereinfacht werden. Sie kommt ohne Hilfsspannung aus, dafür fehlt die »Gegenspannung« bei der maximal verfügbaren Ausgangsspannung

31







32a, b

Bild 32
Leiterplatte zu Bild 31; a – Leiterbild, b – Bestükkungsplan

*(FT)
von W1 (≙ 16V)
U~
V1
V2
N1
B3170V
C1
C2
2200/25
100n (ker.)
C3
10µ
V3
R1
82
(E)
R2
1k
C4
10/16
+U0
0(⊥)
*(FT)
10µ
2200/25
100n(ker.)
C7
1k
R4
C5
C6
-UI
von W2 (≙ 16V)
U~
V4
B3370V
N2
V5
V6
82
R3
10/16
C8
-U0
+U0 = ± 1,25V... UI − UBr− −2,5V
(max ≈ 15V/0,5A bei Ueff ≈ 16V)
UBr− < 1V bei I0 = 0,5A und C1, C5 = 2200µF
V2,V3,V5,V6: SY345/05

)* Einsatz des Fahrtransformators spart V1!
)** Tandem, sofern sinnvoll für die Anwendung
)*** auf je 1 Kühlfläche
)⊛ dabei Plus wie gezeichnet

Zubehör (U~) } für negative Strecke mit V4
Bahn (Fahrtransf. mit Gleichr.) FT } für positive Strecke ohne V1

33

Bild 33
Fahr- und Zubehörtransformator *FZ1* speist symmetrisches Labornetzteil. Für andere Transformatoren ist ein 2. Brückengleichrichter erforderlich, der im vorliegenden Falle bereits auf der »Fahrseite« im Gehäuse des Transformators enthalten ist. Statt je 4×*SY360* auch je 1×*1PM05* wie in Bild 34! Leerlaufspannung kontrollieren ggf. für Lade-C 40-V-Typen!

35

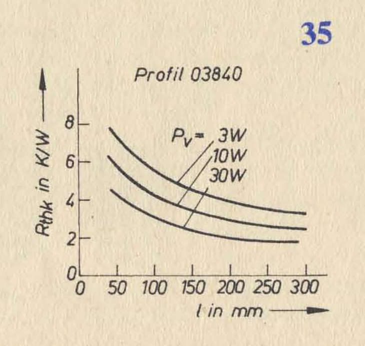


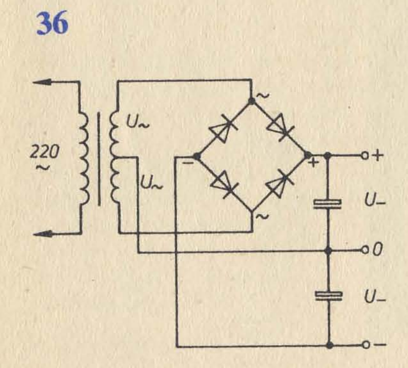
Bild 35
Kennlinien eines typischen Kühlkörperprofils

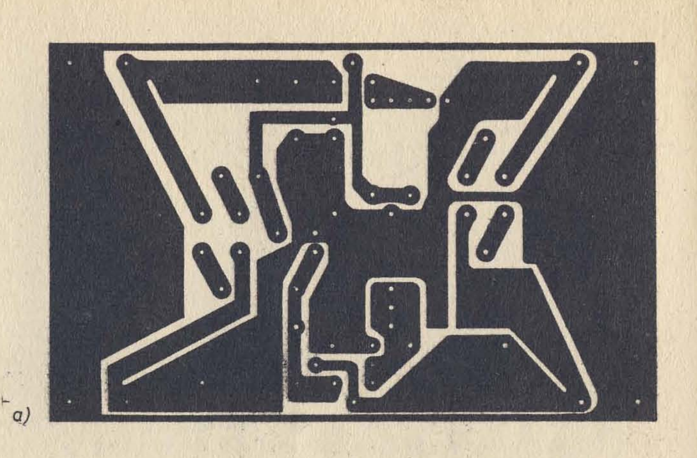
Bild 36
Weitere Möglichkeit für die Speisung eines symmetrischen Regelnetzteils bei entsprechend leistungsfähiger Transformatorwicklung

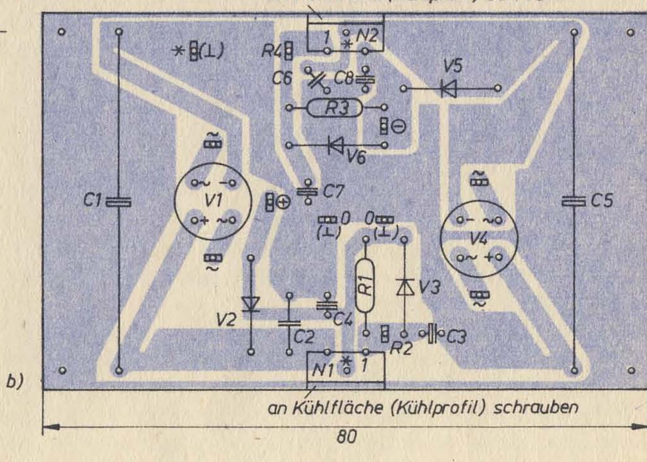
Bild 37
Prüfeinrichtung für Reglerschaltkreise der Reihe *B 3xxx*

Bild 34
Leiterplatte zu Bild 33, die auf beiden Seiten für universellen Einsatz mit Brückengleichrichtern bestückt werden kann; a – Leiterbild, b – Bestückungsplan, c – Muster (noch ohne Kühlflächen); siehe Titelbild

36







)* Mittelanschluß 2,5 nach außen abgewinkelt (größere Lötfläche)

34a, b

37

